



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CAMPUS II - AREIA/PB
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIA DO SOLO



**INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DA ÁGUA RESIDUÁRIA NAS
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE UM PLANOSSOLO NÁTRICO NA
REGIÃO SEMIÁRIDA PARAIBANA**

Vanessa dos Santos Gomes

Areia - PB
Julho - 2016

VANESSA DOS SANTOS GOMES

**INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DA ÁGUA RESIDUÁRIA NAS
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE UM PLANOSSOLO NÁTRICO NA
REGIÃO SEMIÁRIDA PARAIBANA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de “Mestre em Ciência do Solo”. Área de Concentração: Ciclos Biogeoquímicos em Agroecossistemas.

Orientador: Prof. Dr. Bruno de Oliveira Dias

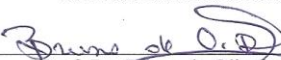
Areia - PB
Julho – 2016

VANESSA DOS SANTOS GOMES

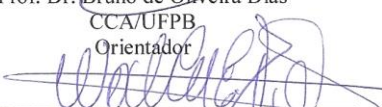
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de “Mestre em Ciência do Solo”. Área de Concentração: Ciclos Biogeoquímicos em Agroecossistemas.

Aprovada em 20 de maio de 2016

BANCA EXAMINADORA

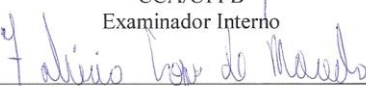

Prof. Dr. Bruno de Oliveira Dias

CCA/UFPB
Orientador

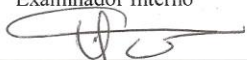


Prof. Dr. Walter Esfrain Pereira
CCA/UFPB

Examinador Interno



Dr. Fabrício Lopes de Macedo
Bolsista PNPd/CAPES/PPGCS/UFPB
Examinador Interno



Prof. Dr. Gilcean Silva Alves
CSTGA/UFPB-JP
Examinador Externo

Dedico ao meu pai do coração Antonio Costa de Oliveira (*in memoriam*), pelo tempo dado, amor, dedicação e ensinamentos.

“A ciência trabalha na fronteira entre conhecimento e ignorância. Não temos medo de admitir o que não sabemos. Não há vergonha nisso. A única vergonha é fingir que temos todas as respostas”.

(Neil de Grasse Tyson)

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida e por cada milagre que Ele realizou e vem realizando na minha vida e das pessoas a minha volta.

À minha família, em especial aos pais do coração Icléia de Araújo Oliveira e Antonio Costa de Oliveira, a minha mãe Maria Lúcia dos Santos e meus irmãos Felipe e Fernandinha que são presentes de Deus na minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Bruno de Oliveira Dias, pela orientação, pela sua postura ética, competência e acima de tudo paciência durante este período.

Aos amigos e profissionais, Jhony, Ewerton, Flávio, Renato Mandaca, Tarcísio, Aparecida, Evaldo, Robério, Begna, Adilson, João, Isnara, Djalma, Kalline, Thiago, Flávia.

Às meninas da casa do mestrado feminino da UFPB, Jailma, Glória, Priscila Carvalho, Leandra, Aparecida, Danila, Fátima, Rosana, Ana Jéssica pelos dois anos de convivência conversas, cafés e por todo apoio durante o período do mestrado.

Ao Instituto Nacional do Semiárido (INSA) por todo o suporte dado, desde a área experimental por Salomão de Sousa Medeiros até e apoio durante a pesquisa por Professor Salcedo, Sayonara, Júlia, Emanuel, Ariane, Vanessa Farias e Raimundo.

À professora Dr. Vânia Fraga e todos os estagiários do Laboratório de Matéria Orgânica e Química do Solo da Universidade Federal da Paraíba pelo suporte, cedendo os reagentes para análises.

Ao professor Dr. Valderi Duarte Leite, à Wanderley e Paula Mikácia da Estação Experimental de Tratamento Biológico de Esgoto (EXTRABES) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) pela disponibilidade tanto por ceder os reagentes quanto nas análises físico-químicas da água residuária.

Aos meus amigos Mábia, Natália, Paula Mikácia, Helga, Jadely, Isa, Kempes, Bruno, Mayara, Jenny, Rosilene, Wellington, Victor, Pedro, Polyana, Cláudia e Rayssa pela amizade, companheirismo e por tudo que aprendi com vocês.

Aos professores da banca examinadora Dr. Walter Esfrain Pereira, Dr. Fabrício Lopes de Macedo e Dr. Gilcean Silva Alves, pela gentileza da participação e pelas correções necessárias.

A todos, que de alguma forma participaram deste trabalho, mas que, por uma imperdoável falha de minha parte, não se viu nesta lista, a quem peço perdão e atribuo igualmente meu carinho e afeto.

SUMÁRIO

RESUMO.....	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1. Escassez hídrica e degradação dos solos no semiárido paraibano.....	2
2.2. Tratamentos de águas residuárias	3
2.3. Reúso de água na agricultura.....	3
2.4. Efeitos da água residuária nas características químicas do solo.....	4
2.4 Planossolo Nátrico.....	5
3. MATERIAL E MÉTODOS	7
3.1. Caracterização da área experimental	7
3.2. Águas utilizadas para irrigação.....	7
3.4. Caracterização química e física inicial do solo	8
3.5. Atributos químicos analisados no fim do período experimental	9
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	10
4.1. pH, matéria orgânica do solo (MOS), fósforo (P) e nitrogênio (N)	10
4.1.1. Acidez ativa (pH).....	10
4.1.2. Matéria orgânica do solo (MOS).....	11
4.1.3. Fósforo (P).....	12
4.1.4. Nitrogênio (N)	13
4.2. Cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}) e relação cálcio e magnésio (Ca:Mg).....	14
4.2.1. Cálcio (Ca^{+2}).....	14
4.2.2. Magnésio (Mg^{+2})	16
4.2.3. Relação cálcio e magnésio (Ca:Mg)	17
4.2.4. Sódio (Na^{+})	18
4.2.5. Potássio (K^{+}).....	18

4.3. Acidez trocável (Al^{+3}) e Acidez potencial.....	19
4.3.1 Acidez trocável (Al^{+3})	19
4.3.2. Acidez Potencial	20
4.4. Soma de bases (SB), $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$ e $\text{CTC}_{\text{pH } 7,0}$	21
4.5. Porcentagem de sódio trocável (PST), Saturação por bases (V) e Saturação por Al^{3+} (m).....	22
4.6. Análise de componentes principais (ACP).....	23
5. CONCLUSÕES.....	27
6. REFERÊNCIAS	28
APÊNDICE A	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa da sensibilidade à desertificação com base na cobertura vegetal e nas classes de solos do Semiárido Paraibano. Fonte: Sá et al., 2013.....	2
Figura 2. Precipitação média mensal e acumulada em Campina Grande-PB.	7
Figura 3. Estação de tratamento primário (facultativo) de esgoto doméstico da sede do Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande, Paraíba.	8
Figura 4. Teores médios de matéria orgânica do solo nas camadas de 0-15 cm e 15-30 cm de profundidade do perfil do solo antes (□) e após (■) 17 meses de aplicação de água de reuso, Campina Grande, PB. Médias seguidas pela mesma letra minúscula para aplicação da água e letra maiúscula para profundidade, respectivamente, pelo teste F a 1% de probabilidade.	11
Figura 5. Teores médios de fósforo nas camadas de 0-15 cm e 15-30 cm de profundidade do perfil do solo antes (■) e após (□) 17 meses de aplicação de água residuária, Campina Grande, PB. Médias seguidas pela mesma letra minúscula para aplicação da água e letra maiúscula para profundidade, respectivamente, pelo teste F a 5% de probabilidade.	12
Figura 6. Teores médios de matéria orgânica do solo nas camadas de 0-15 cm e 15-30 cm de profundidade do perfil do solo antes (□) e após (■) 17 meses de aplicação de água residuária, Campina Grande, PB. Médias seguidas pela mesma letra minúscula para aplicação da água e letra maiúscula para profundidade, respectivamente, pelo teste F a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente.	13
Figura 7. Teores médios de cálcio no solo antes e após a aplicação de água de reuso, Campina Grande, PB. Médias seguidas pela mesma letra minúscula para aplicação da água após 17 meses de aplicação de água residuária e letra maiúscula para profundidade, respectivamente, pelo teste F a 5% de probabilidade.....	15
Figura 8. Teores médios de magnésio no solo antes e após a aplicação de água residuária, Campina Grande, PB. Médias seguidas pela mesma letra minúscula para aplicação da água após 17 meses de aplicação de água residuária e letra maiúscula para profundidade, respectivamente, pelo teste F a 5% de probabilidade.....	16
Figura 9. Teores médios da relação entre cálcio e magnésio no solo antes e após a aplicação de água residuária, Campina Grande, PB. Médias seguidas pela mesma letra minúscula para aplicação da água após 17 meses de aplicação de água residuária e letra maiúscula para profundidade, respectivamente, pelo teste F a 5% de probabilidade. ...	17
Figura 10. Teores médios de Alumínio trocável no solo antes e após a aplicação de água de reuso, Campina Grande, PB. Médias seguidas pela mesma letra minúscula para aplicação da água após 17 meses de aplicação de água residuária e letra maiúscula para profundidade, respectivamente, pelo teste F a 1% de probabilidade.....	20

Figura 11 Teores médios de H+Al no solo antes e após a aplicação de água de reuso, Campina Grande, PB. Médias seguidas pela mesma letra minúscula para aplicação da água após 17 meses de aplicação de água residuária e letra maiúscula para profundidade, respectivamente, pelo teste F a 5% de probabilidade..... 21

Figura 12. Teores médios de percentagem de sódio trocável (PST) no solo antes e após a aplicação de água de reuso, Campina Grande, PB. Médias seguidas pela mesma letra minúscula para aplicação da água após 17 meses de aplicação de água residuária e letra maiúscula para profundidade, respectivamente, pelo teste F a 1% de probabilidade. ... 23

Figura 13. Teores médios de saturação por alumínio no solo antes e após a aplicação de água de reuso, Campina Grande, PB. Médias seguidas pela mesma letra minúscula para aplicação da água após 17 meses de aplicação de água residuária e letra maiúscula para profundidade, respectivamente, pelo teste F a 1% de probabilidade..... 23

Figura 14. Dispersão das variáveis queimadas de solo com base nos escores do primeiro e segundo componente principal. 26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização da água residuária utilizada na irrigação da área experimental.	8
Tabela 2. Fração granulométrica e classe textural do solo na área experimental.....	8
Tabela 3. Classificação dos atributos químicos do solo.	9
Tabela 4. Resumo da análise de variância para os valores de pH, Matéria orgânica do Solo (MOS), Fósforo (P), Nitrogênio (N) em duas camadas, 0-15 cm e 15-30 cm profundidade do perfil, tempo e após a aplicação de água residuária, Campina Grande, PB.	10
Tabela 5. Resumo da análise de variância para os valores de Cálcio (Ca^{+2}), Magnésio (Mg^{+2}), Sódio (Na^{+}), Potássio (K^{+}), Relação cálcio e magnésio (Ca:Mg) em duas camadas, 0-15 cm e 15-30 cm profundidade do perfil, antes e após a aplicação de água residuária, Campina Grande, PB.	14
Tabela 6. Resumo da análise de variância para os valores de alumínio (Al^{+3}), hidrogênio mais alumínio (H+Al), 0-15 cm e 15-30 cm profundidade do perfil, antes e após a aplicação de água residuária, Campina Grande, PB.....	19
Tabela 7. Resumo da análise de variância para as variáveis soma de bases (S), saturação por bases (V), percentagem de sódio trocável (PST), saturação por alumínio (m) e capacidade de troca de cátions efetiva ($\text{CTC}_{\text{efetiva}}$) e solo ($\text{CTC}_{\text{pH } 7,0}$) em duas camadas, 0-15 cm de profundidade, antes e após a aplicação de água de reúso, Campina Grande, PB.	21

RESUMO

GOMES, V. S. **Influência da aplicação da água residuária nas características químicas de um Planossolo Nátrico na região semiárida.** Areia-PB: UFPB, 2016. 35p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.

Em zonas áridas e semiáridas, a escassez hídrica é um fator limitante para a produção agrícola. O reúso da água residuária na agricultura pode ser uma alternativa viável, levando em consideração critérios de segurança, como a qualidade e quantidade do efluente, bem como os seus efeitos nas propriedades químicas dos solos. O presente estudo teve como objetivo avaliar as alterações nas características químicas de Planossolo Nátrico submetido à irrigação com águas residuárias (AR). O trabalho foi realizado na área experimental de reúso de água para fins florestais do Instituto Nacional do Semiárido (INSA), em esquema fatorial 2 x 2, quatro tratamentos avaliando em duas épocas de aplicação, antes da implantação do experimento e após 17 meses de aplicação. As amostras de solo foram coletadas na linha de irrigação, em duas camadas (0-15 e 15-30 cm), irrigados por gotejamento com água residuária (14 L dia⁻¹), com uma linha para cada plantio. Não houve diferença significativa para os valores de pH, Na⁺, K⁺, soma de bases (SB), saturação de bases (V), CTC efetiva e CTC potencial. Houve alteração significativa para os teores de matéria orgânica do solo, P, N, Ca⁺², Mg⁺², H+Al e para a relação Ca:Mg. A aplicação da água residuária pode ser uma alternativa viável para melhoria de alguns parâmetros químicos e da fertilidade do solo em zonas áridas e semiáridas, porém deve-se ter o monitoramento da qualidade da água, bem como da qualidade do solo.

Palavra- chave: reúso de água, fertilidade do solo, química do solo.

ABSTRACT

GOMES, V.S. Influence of application of wastewater in chemical characteristics of a Solonets in the semiarid region. Areia-PB: UFPB, 2016. 46p. (Master dissertation in Soil Science).

In arid and semi-arid areas, water scarcity is a limiting factor for agricultural production. The reuse of wastewater in agriculture can be a viable alternative, taking into account safety criteria such as quality and quantity of effluent and its effects on the chemical properties of soils. This study aimed to evaluate the changes in the chemical characteristics of Planosolo Nátrico submitted to irrigation with wastewater (AR). The study was conducted in the experimental area of water reuse for forestry purposes of the Instituto Nacional do Semiárido (INSA) in factorial 2 x 2, four treatments evaluated in two application periods, before the implementation of the experiment and after 17 months of application. Soil samples were collected in the irrigation line in two depths (0-15 and 15-30 cm), drip irrigated with wastewater (14 L day⁻¹), with a row for each planting. There was no significant difference for pH, Na⁺, K⁺, sum of bases (SB), base saturation (V), effective CTC and CEC. There was a significant change to the content of soil organic matter, P, N, Ca⁺², Mg⁺², H + Al and Ca: Mg ratio. The application of wastewater can be a viable alternative for improvement of some chemical parameters and soil fertility in arid and semi-arid areas, but should have monitoring of water quality and soil quality.

Keywords: reuse water, soil fertility, soil chemistry.

1. INTRODUÇÃO

O reduzido índice pluviométrico e a escassez hídrica no semiárido brasileiro têm contribuído para uma perda de produtividade e sustentabilidade das atividades agrícolas na região. Outro fator agravante é a substituição da vegetação nativa (caatinga) para a exploração agropecuária que na maioria dos casos é praticada de maneira incorreta e com poucas instruções técnicas, ocasionando numa redução da fertilidade dos solos.

A escassez hídrica é outro fator limitante para o semiárido brasileiro, uma vez que a região apresenta uma precipitação média anual inferior a 800 mm, e que 50 a 85% dos recursos hídricos são utilizados para a irrigação (CAPRA & SCICOLONE, 2007) o que pode aumentar o problema de escassez hídrica na região semiárida. Nessa região a classe Planossolo ocupa 10,5% das áreas (FILHO et al., 2006) e mesmo com características favoráveis a fertilidade do solo, porém o manejo inadequado da água residuária ao uso agrícola pode causar a degradação desses solos. Neste contexto, observa-se potencial de uso da água proveniente de efluentes domésticos para fins agrícolas, como alternativa viável para aumentar a disponibilidade hídrica e disponibilizar nutrientes para as plantas (MEDEIROS et al., 2005).

Os principais efeitos da aplicação de água residuária no solo são descritos como os incrementos nos teores de carbono, nitrogênio mineral e total, na atividade microbiana, nos teores de cálcio, magnésio, no aumento da salinidade, da sodicidade e da dispersão de argilas (FONSECA et al., 2007). Os efeitos nas propriedades físicas e químicas do solo com o uso de águas residuárias, são manifestados após alguns anos de aplicação, além da dependência de fatores como clima e características do solo (ERTHAL et al., 2010).

Embora a água residuária forneça inúmeros benefícios ao solo, a sua utilização para a agricultura requer práticas adequadas de tratamento e disposição no solo, pois além de oferecerem consideráveis concentrações de íons dissolvidos como o sódio, o boro e cloretos, apresentam grande variedade de organismos patogênicos (DEON et al., 2010). Assim, a irrigação sem o tratamento prévio da água pode trazer malefícios para o meio ambiente, ao solo, às culturas irrigadas e, consequentemente, à saúde humana (DUARTE et al., 2008), de forma que, para realizar o reúso, há critérios de segurança que levam em consideração a quantidade e a qualidade do efluente, bem como o tipo de tratamento.

Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo avaliar as alterações nas características químicas de Planossolo Nátrico submetido à irrigação com águas residuárias.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Escassez hídrica e degradação dos solos no semiárido paraibano

A água é o recurso natural de maior importância no mundo, principalmente para o desenvolvimento da agricultura, há de se pensar em modelos sustentáveis para minimizar a escassez deste recurso, uma vez que novas tecnologias para o aumento da produtividade das áreas agrícolas são dependentes da disponibilidade hídrica para as culturas (PAZ et al., 2000). Sendo assim, a sustentabilidade da produção de alimentos depende de suprimento de água, sendo necessárias fontes alternativas e a gestão adequada dos recursos hídricos convencionais (HESPANHOL, 2008).

O semiárido brasileiro apresenta como características a precipitação média anual inferior a 800 mm, índice de aridez até 0,5 que representa um risco de seca maior do que 60%, de modo que, a Paraíba é o terceiro estado com maior número de município nessa região (223), o que representa 86,44% de sua área total (56.440 km²) (BRASIL, 2007). Além dos problemas hídricos, esta região apresenta uma grande diversidade de classes de solos e de cobertura vegetal, cuja combinação torna 85% de sua área com acentuada ou severa sensibilidade à desertificação (Figura 1) (SÁ et al., 2013).

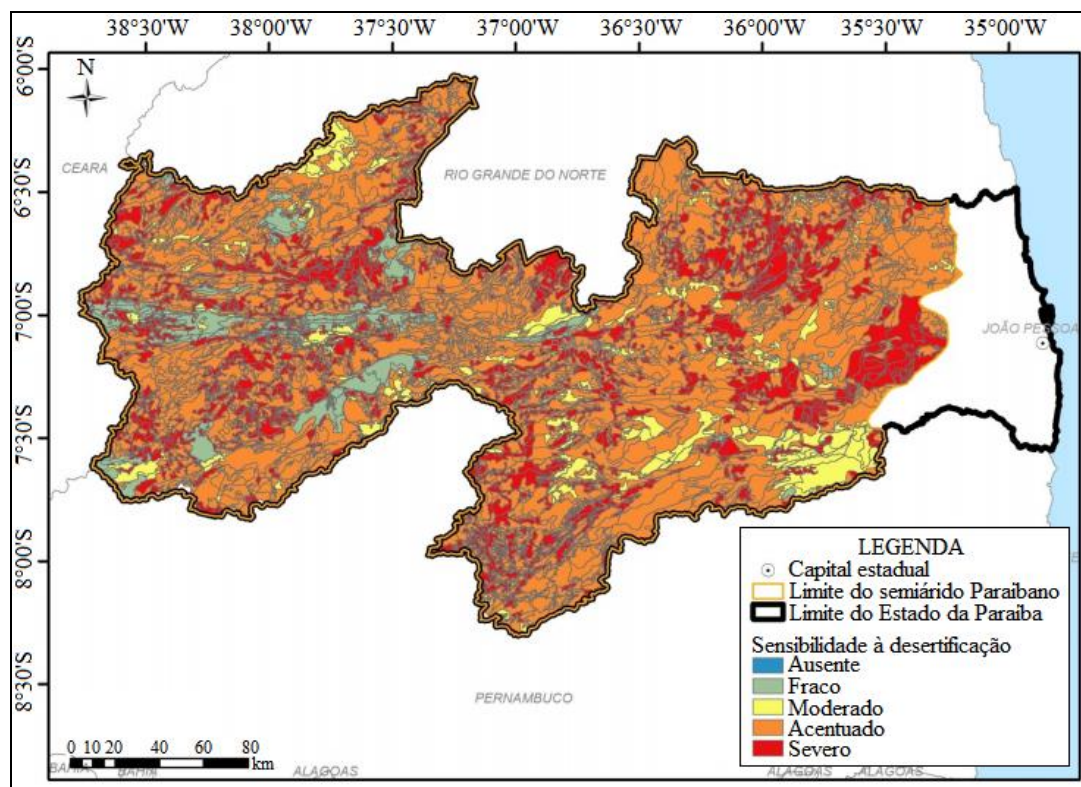


Figura 1. Mapa da sensibilidade à desertificação com base na cobertura vegetal e nas classes de solos do Semiárido Paraibano. Fonte: Sá et al., 2013.

O processo de degradação dos solos ocorre devido à fragilidade natural deste ambiente, sendo potencializada por ações antrópicas como desmatamento, exploração de depósitos de argila e manejo agropecuário inadequado (GALINDO et al., 2008). Assim constata-se que é necessária a adoção de estratégias de manejo para reverter esse processo (BARROS et al., 2011).

2.2. Tratamentos de águas residuárias

Estima-se que aproximadamente 30 milhões de pessoas residem em áreas rurais, correspondendo a 15% da população do país, e não possuem nenhum tipo de sistema de esgotamento sanitário (IBGE, 2011). Essa situação é preocupante, pois a água residuária, proveniente principalmente de residências e estabelecimentos comerciais (VON SPERLING, 2005), e a população geralmente lança essa água diretamente nos corpos hídricos ou em fossas rudimentares, prejudicando a saúde pública através da proliferação de doenças, bem como problemas ambientais (BRASIL, 2009).

Para reduzir a contaminação dos recursos hídricos e mitigar os impactos causados pelo lançamento inadequado de efluentes domésticos, é necessário realizar o tratamento adequado. De acordo com Chernicharo et al. (2006), o tratamento de esgotos domésticos nas companhias de saneamento adotam a seguinte ordem: tratamento preliminar: remove as partículas sólidas grosseiras ($\varnothing > 0,25$ mm) que estão suspensas nos efluentes domésticos, por meio de processos físicos como o gradeamento, caixa de areia para a remoção dos sólidos sedimentáveis e caixas de separação de materiais insolúveis como óleos e graxas; tratamento primário: reduz a quantidade de partículas em suspensão; tratamento secundário: reduz a quantidade de sólidos dissolvidos e sólidos suspensos; tratamento terciário: reduz os patógenos, remove a matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e outros elementos que ainda persistam nas etapas anteriores.

É importante salientar que o sistema de reúso sustentável, tem como alicerce informações básicas como a composição e qualidade do efluente (MENDONÇA, 2004), finalidade do reúso e tipo de tratamento (MAY, 2009).

2.3. Reúso de água na agricultura

O reúso do efluente doméstico torna-se uma alternativa tanto para agricultura quanto para o destino ambientalmente adequado do efluente, considerando que este possui características físico-químicas que contribuem para a fertilidade do solo. Muitos países já incluem a reutilização da água no planejamento dos recursos hídricos, visto que os

efluentes devem ser integrados aos recursos globais de água (BOUWER, 2000). Países como Israel e Índia, aproveitam respectivamente, 70% e 75% águas residuárias tratadas e não tratadas para irrigação (ANGEKALIS et al., 1999).

As técnicas de reúso de água possuem benefícios econômicos, ambientais e de saúde pública (HESPANHOL, 2001), sendo uma medida para mitigar o problema da escassez hídrica no semiárido brasileiro e uma opção para os agricultores da região (SOUSA & LEITE, 2003). Entretanto, os incentivos são insuficientes para que a água residuária seja utilizada na irrigação como fonte alternativa, por possuir qualidade inferior à água de abastecimento e não fazer parte da política institucional.

Quando utilizada para irrigação, a água residuária tratada pode reduzir os custos de fertilização das culturas, o nível requerido para o tratamento do efluente, e o custo com o tratamento, uma vez a água é composta de nutrientes e as culturas comportam-se como biofiltros naturais (BRANDÃO et al., 2002). Apesar dos benefícios do uso de água residuária na agricultura, deve-se manejar adequadamente a irrigação, uma vez que as taxas de aplicação devem ser compatíveis com a evapotranspiração da cultura e das condições atmosféricas.

Em zonas áridas, as águas residuárias podem ser utilizadas para irrigação durante todo o ano. No entanto, em zonas úmidas a aplicação de águas residuárias em época chuvosa pode criar condições de anaerobiose e consequentes problemas de odor e de aparecimento de insetos (VON SPERLING, 2005).

2.4. Efeitos da água residuária nas características químicas do solo

Com a aplicação da água residuária observa-se os efeitos nas características químicas do solo, sendo que estes efeitos são regulados de acordo com a composição físico-química da água (sólidos dissolvidos, presença de íons tóxicos e concentração relativa de sódio), as condições climáticas e o tipo de solo. Neste contexto, alguns estudos reforçam a relevância da irrigação com o esgoto doméstico no fornecimento de parte dos nutrientes essenciais para as plantas como N, P, e K (HESPANHOL, 2002; KOURA et al., 2002), e para melhorar algumas propriedades físicas do solo (ALMEIDA & SILVA, 2006).

Ao comparar culturas irrigadas com água de abastecimento e adubadas com NPK, com culturas irrigadas com efluentes domésticos tratados, Sousa et. al. (2005) obtiveram produtividade de 15 a 30% superior àquelas culturas irrigadas com água de abastecimento e adubadas com NPK, comprovando a viabilidade do uso da água residuária tratada na irrigação. Grande parte dos autores relacionam o aumento de determinadas variáveis

químicas do solo, e que influenciam na produção das plantas, e consequentemente, nos diferentes potenciais nutricionais dos efluentes.

A aplicação de água residuária doméstica terciária eleva significativamente a concentração de nitrogênio no solo (SANTOS et al., 2006). O nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) ocorrem naturalmente em solos e águas, como produtos da mineralização do material orgânico. Entretanto, grandes concentrações desses íons podem ocorrer, quando há lançamento de material orgânico, ou então, aplicação excessiva de fertilizantes nitrogenados no solo, o que pode causar riscos à saúde da população (MUCHOVEJ & RECHIGL, 1994).

Em relação à qualidade do solo, mesmo com as vantagens da aplicação da água residuária é necessário evitar que ocorra o processo de salinização do solo, pois a irrigação é muitas vezes, a única possibilidade de garantir a produção agrícola, principalmente em regiões como o semiárido nordestino (FERREIRA NETO et al., 2010). Portanto, o conhecimento das características físicas e químicas do solo em que será aplicada a água residuária é fundamental para que não se altere a integridade dos recursos hídricos nem tampouco sature o solo com um único elemento que pode levar ao desequilíbrio nutricional das plantas (MATOS et al., 2005).

Para mitigar os impactos ambientais da aplicação da água residuária tratada, a disposição no solo, é considerada uma das alternativas mais viáveis (BEBÉ et al., 2010). Essa afirmação baseia-se no fato de que parte da água residuária se infiltra no solo, ocorrendo o tratamento do efluente, pois o solo comporta-se como uma camada filtrante, possibilitando ações de adsorção e atividades dos microrganismos, os quais usam a matéria orgânica contida na água como fonte de energia (COURACCI FILHO et al., 1999).

Dessa forma, avaliar a adição da água residuária no solo pode proporcionar melhoria nos atributos químicos do solo, levando em consideração a classe, a textura, ou seja, a água residuária pode contribuir com agente condicionante para o solo, além de contribuir para a conservação e a fertilidade de solos agrícolas e mitigar os impactos ambientais causados pela disposição inadequada de efluentes.

2.4 Planossolo Nátrico

O Planossolo está presente na região do semiárido brasileiro, e possui grande importância econômica, tanto em função da magnitude territorial que corresponde a aproximadamente 78.500 km², que representa 10,5% da região semiárida, quanto pela sua utilização para agropecuária (FILHO et al., 2006). Esses solos ocorrem preferencialmente em relevo plano ou suave ondulado, são imperfeitamente mal drenados, com horizonte B

plânico, geralmente formado pela acentuada concentração de argila que resulta em permeabilidade lenta e muito lenta. Mesmo tendo condições de fertilidade natural de razoáveis a boas, apresentam limitações consideráveis ao uso agrícola, principalmente em função das altas concentrações de sódio trocável, más condições físicas, suscetibilidade a erosão (SANTOS et al., 2013).

A maioria dos Planossolos Nátricos apresentam baixos teores de P (MENEZES et al., 2005), CO (LEITE et al., 2010) e N (FRANCISCO et al., 2013), de modo que, as águas residuárias podem elevar os teores da MOS e desses nutrientes. Em trabalho realizado por Souza et al. (2005), constatou-se que a água residuária apresentou valores de P e N variando de 34,7 a 92,5 kg ha⁻¹ e 140,1 a 375,3 kg ha⁻¹, respectivamente. Santos Júnior et al. (2015), verificaram que o efluente doméstico pode apresentar em sua composição 24,36 mg L⁻¹ de N-NO₃⁻ e 11,7 mg L⁻¹ de P, e a urina humana pode apresentar 8.640,0 mg L⁻¹ de N-NH₃⁺ e 870,0 mg L⁻¹ de P.

Apesar do potencial da água residuária para elevar a fertilidade de Planossolos Nátricos, constata-se a necessidade do manejo adequado da irrigação com esta água, tendo em vista que, o manejo inadequado da irrigação associada às peculiaridades edafoclimáticas do Nordeste brasileiro, contribuem para o processo de degradação desses solos (OLIVEIRA et al., 2002).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área experimental

O experimento foi desenvolvido no Instituto Nacional do Semiárido (INSA), no município de Campina Grande, PB. A região apresenta clima semiárido quente e seco (BSh), com estação chuvosa de março a julho, com precipitação total no período experimental de 774 mm, que corresponde a média histórica ao longo do período experimental (Tabela 1). O experimento foi realizado no período de 10/2012 a 05/2014, em Planossolo Nátrico decapeado para uso na construção de estrada e civil, instalado em uma área de 60 x 60 m (3.600 m²).

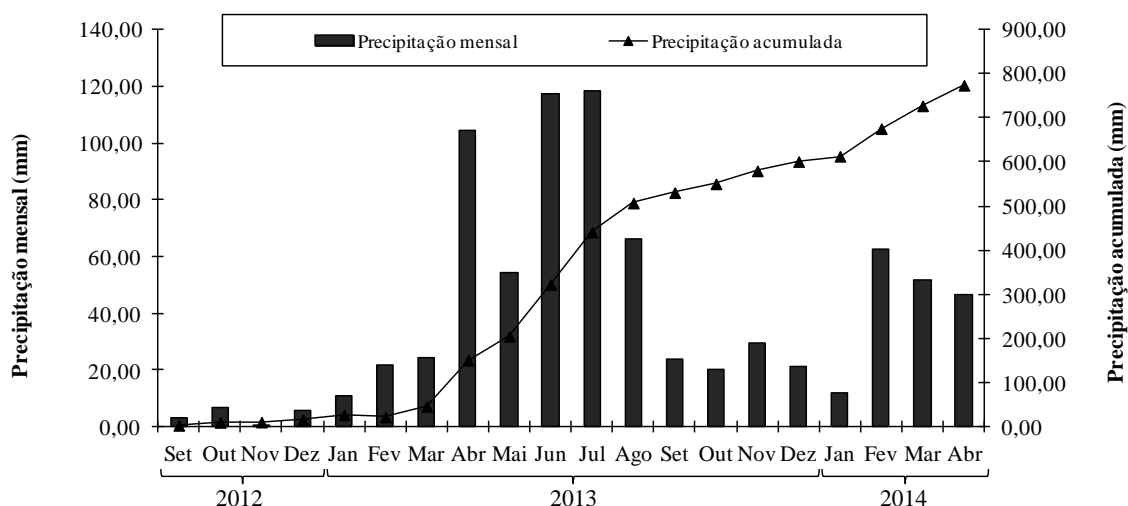


Figura 2. Precipitação média mensal e acumulada em Campina Grande-PB.

3.2. Águas utilizadas para irrigação

Na área cultivaram-se plantas de duas espécies nativas da Caatinga, irrigados por gotejamento com água residuária (14L dia⁻¹) que corresponde ao tratamento que possui o volume máximo de água residuária do experimento. A água residuária utilizada é proveniente dos banheiros e cozinhas, e recebeu tratamento primário na estação de tratamento de efluentes do INSA (Figura 3).

As coletas de solo foram realizadas em dois períodos, antes da aplicação da água residuária (05/10/2012) e após 17 meses de aplicação da água residuária (03/05/2014), antes do período chuvoso. Foram coletadas 64 amostras de solo no período antes da aplicação da água residuária, e após os 17 meses de aplicação de água residuária foram coletadas 48 amostras de solo. Utilizou-se para a coleta um trado de modelo helicoidal e

com coletor do tipo caneco, em duas camadas (0-15 e 15-30 cm). Após a coleta, o solo foi seco ao ar, e em seguida destorroado e peneirado com peneira (2 mm).



Figura 3. Estação de tratamento primário (facultativo) de esgoto doméstico da sede do Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande, Paraíba.

As amostras da água residuária aplicada foram analisadas de acordo com a APHA (2003), e os resultados encontra-se na tabela 1.

Tabela 1. Caracterização da água residuária utilizada na irrigação da área experimental.

pH	CE	N	P	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	COT	SDT	DQO	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Cl ⁻
-	dS m ⁻¹	----- mg L ⁻¹ -----						-	-----						-
8,3	13,5	26,3	14	9,4	51,9	3,7	681	33	22,3	4,5	22,3	27,6	24,5	10,7	270

3.4. Caracterização química e física inicial do solo

As amostras coletadas no início do experimento foram enviadas aos laboratórios do INSA e UFPB, para caracterização química (Tabela 2) e física do solo (Tabela 3), respectivamente, conforme a metodologia da Embrapa (2011).

Tabela 2. Fração granulométrica e classe textural do solo na área experimental.

Camada	Fração granulométrica			Classe Textural
	Areia	Silte	Argila	
cm	-----	g kg ⁻¹ -----	-----	
0-15	648	149	203	Franco argilo arenoso
15-30	685	149	165	Franco arenoso

3.5. Atributos químicos analisados no fim do período experimental

As características químicas e da fertilidade do solo foram determinadas com o intuito de verificar as mudanças que ocorreram após dois anos de aplicação da água residuária. Os atributos analisados foram: pH (H₂O), P, Na⁺, K⁺, Ca⁺² e Mg⁺², pelo método da Embrapa (2011), carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT), por meio de um analisador elementar (LECO), soma de bases (SB), CTC_{efetiva}, CTC_{pH 7,0}, saturação por bases (V), saturação por Al (m) e porcentagem de sódio trocável (PST). Os resultados foram interpretados de acordo com Siqueira (2007) e Souza & Lobato (2004), e o manual de correção do solo e adubação do Cerrado (Tabela 4).

Tabela 3. Classificação dos atributos químicos do solo.

Atributo	Unidade	Classes de valores		
		Baixos	Médios	Altos
pH em água*	-	< 5	5 a 6	> 6
Matéria Orgânica (MO)*	%	< 1,5	1,5 a 3	> 3
P extraível*	mg kg ⁻¹	< 7	7 a 15	> 15
Al trocável (Al ³⁺)*	cmol _c kg ⁻¹	< 0,5	0,5 a 1	> 1
CTC _{efetiva} *	cmol _c kg ⁻¹	< 5	5 a 15	> 15
Saturação por Bases (V)*	%	< 50	50 a 70	> 70
Saturação por Na ⁺ (PST)*	%	< 6	6 a 15	> 15
Saturação por alumínio (m)*	%	< 5	5 a 15	> 15
Potássio trocável (K ⁺)*	cmol _c kg ⁻¹	< 0,07	0,07 a 0,15	> 0,15
Ca ⁺² **	cmol _c kg ⁻¹	< 1,5	1,5 -7,0	>7,0
Mg ⁺² **	cmol _c kg ⁻¹	< 0,5	0,5-2,0	> 2,0
Ca:Mg ₊	-	< 2,0	2,0 -7,0	>7,0

Fonte: adaptado de Siqueira, 2007. Considerou-se a densidade de 1,0 g cm⁻³ para converter os valores de cmol_c dm⁻³ para cmol_c kg⁻¹. (1) Siqueira (2007); (2) Souza & Lobato (2004).

3.4.4. Delineamento experimental e análise estatística

O experimento consistiu da combinação de duas épocas de aplicação de avaliação (antes da aplicação e 17 meses após) em duas camadas (0-15 e 15-30 cm). A época foi considerada como medida repetida no tempo, enquanto que a camada como medida repetida no espacialmente, utilizando o teste F ($p \leq 0,05$) para verificar efeitos. Também realizou-se a análise de componentes principais (ACP) para observar as interrelações entre os atributos analisados. Todas as análises foram realizadas utilizando-se o pacote estatístico SAS University (SAS Institute University Edition, 2015).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. pH, matéria orgânica do solo (MOS), fósforo (P) e nitrogênio (N)

A partir da análise de variância é possível observar que não houve diferença significativa para o pH antes e após 17 meses da aplicação da água residuária e nem em relação as profundidades, e para os valores de N, houve significância apenas para as épocas e para P e MOS houve diferença significativa entre as épocas e as camadas, sendo que no P houve interação entre os fatores (Tabela 4). O que pode ser justificado pela entrada de material orgânico no solo através da água residuária (AR).

Tabela 4. Resumo da análise de variância para os valores de pH, Matéria orgânica do Solo (MOS), Fósforo (P), Nitrogênio (N) em duas camadas, 0-15 cm e 15-30 cm profundidade do perfil, tempo e após a aplicação de água residuária, Campina Grande, PB.

FV	GL	pH		MOS		P		N	
		GLd	F	GLd	F	GLd	F	GLd	F
Época (E)	1	46,1	0,03 ^{ns}	61,3	9,03 ^{**}	46,0	99,42 ^{**}	58,6	12,83 ^{**}
Profundidade (P)	1	53,0	0,39 ^{ns}	57,9	4,52 [*]	46,2	5,32 ^{**}	56,7	1,09 [*]
E × P	1	46,1	0,20 ^{ns}	61,3	0,00 ^{ns}	46,0	4,48 ^{**}	58,6	0,00 ^{ns}

^{ns} e ^{**}: não significativo e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. GLd = Grau de liberdade do denominador

4.1.1. Acidez ativa (pH)

O pH não apresentou variação significativa em função da época de avaliação e camadas avaliadas, com valores entre 5,91 a 5,88 (Apêndice A) observados antes da aplicação e após 17 meses de aplicação da água residuária, respectivamente. O que pode ser justificado pelo alto teor de NH_4^+ contido na água, mesmo o pH da AR sendo 8,3. O pH é influenciado pela aplicação do NH_4^+ que é uma fonte de N, porém após o processo de nitrificação pode provocar maior acidez ao solo (MEDEIROS et al., 2005).

Pesquisa realizada por Queiroz et al. (2004), constataram que após a aplicação do esterco líquido de suínos houve o aumento da acidez. Por isso, este fenômeno é característico em solos que recebem águas residuárias, em virtude da degradação da matéria orgânica que propicia a produção de CO_2 e liberação dos ácidos orgânicos (BOUWER, 2000).

O efeito da água residuária sobre o pH do solo, pode variar dependendo da composição química, dos teores de carbonato e elementos que possuem reação alcalina (WHALEN et al., 2000) contidos na água residuária. A magnitude do efeito deste resíduo nos componentes da acidez do solo, vai depender do poder tampão do solo tratado e a dose aplicada, que, geralmente, em doses elevadas e repetidas é possível observar mudanças

significativas (CASSOL et al., 2011), pois em condições de acúmulo da matéria orgânica e no estágio final de sua mineralização, a oxidação libera elétrons, podendo ocasionar, um aumento do pH (NOVAES et al., 2007).

4.1.2. Matéria orgânica do solo (MOS)

Não houve interação significativa no teor de matéria orgânica do solo para as épocas de aplicação e profundidade. Os teores foram maiores na camada de 0-15 cm, com $15,46 \text{ g kg}^{-1}$ (Figura 4 A). O aumento do teor de MOS pode ser justificado pelo aporte de AR nessa camada, como também pelo teor de C contido na AR tratada ($3,7 \text{ mg L}^{-1}$) o que corrobora com a pesquisa de Caovilla et al., (2010), em que ocorreu resultado semelhante em razão do eficiente controle da lâmina aplicada (irrigação por gotejamento), que promoveu uma lâmina frequente e superficial. A diferença de teor de MOS em relação às camadas, é um fenômeno muito comum (MALAVOLTA et al., 2002), devido ao maior aporte de matéria orgânica nas camadas superficiais (DAL BOSCO et al., 2008).

O acúmulo de MOS está relacionado com a aplicação, uma vez que, o valor inicial era de $13,09 \text{ g kg}^{-1}$ e passou para $16,32 \text{ g kg}^{-1}$ (Figura 4 B). A aplicação de AR proporciona o aumento da concentração de N, e posteriormente, dos teores de C, em função da proliferação da biota do solo (DUARTE et al., 2008).

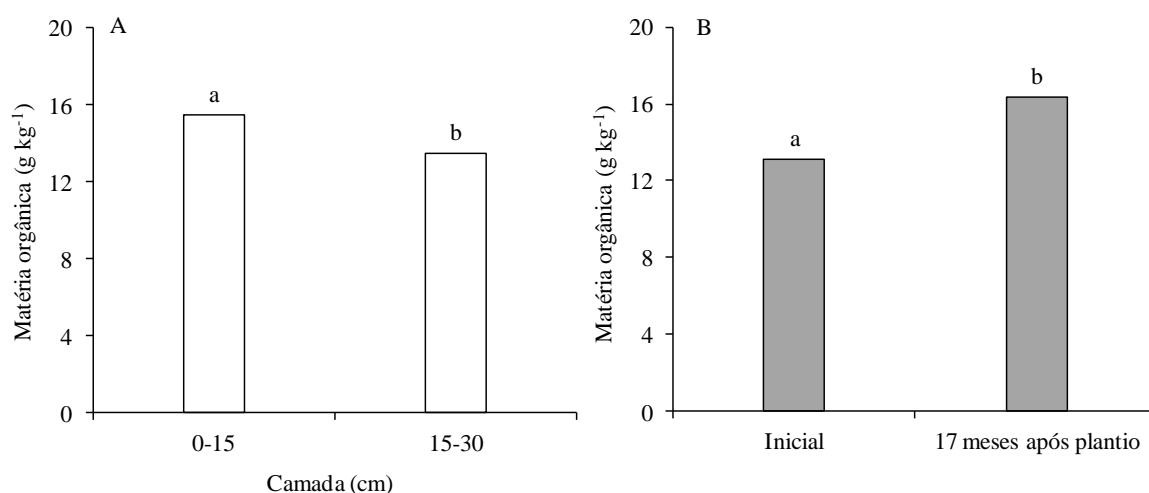


Figura 4. Teores médios de matéria orgânica do solo nas camadas de 0-15 cm e 15-30 cm de profundidade do perfil do solo antes (□) e após (■) 17 meses de aplicação de água de reuso, Campina Grande, PB. Médias seguidas pela mesma letra minúscula para aplicação da água e letra maiúscula para profundidade, respectivamente, pelo teste F a 1% de probabilidade.

A média de matéria orgânica para solos arenosos no bioma da caatinga correspondem a $15,9 \text{ g kg}^{-1}$ (MENEZES et al., 2012). Assim, constata-se que o uso da água

residuária na área experimental proporcionou um aumento significativo em relação à média da Caatinga (Figura 4 B), sendo uma alternativa viável para o aumento no teor de MOS em áreas degradadas. A melhoria da qualidade do solo observada por Wang et al. (2007) foi proporcional ao aumento das doses de água residuária tratada, sendo este resultado atribuído ao teor de sólidos dissolvidos totais.

4.1.3. Fósforo (P)

O fósforo foi afetado significativamente pelas épocas de aplicação da água residuária e pelas camadas avaliadas (Figura 5), observando-se interação. Após a aplicação da AR, constatou-se o aumento nos teores de P em ambas as camadas, com maior teor na camada de 0-15 cm (19,11 g kg⁻¹). O aumento do teor de P no solo pode ser justificado pelo alto teor deste nutriente na AR, que foi de 14,4 mg L⁻¹, sendo proveniente, principalmente de detergentes, como também, proteínas excretadas pelo corpo humano. A entrada de P no solo via irrigação por AR pode proporcionar o aumento das concentrações de P disponível, tanto em camadas superficiais, como subsuperficiais (MOHAMMAD & MAZAHREH, 2003). O aumento significativo dos teores de P após a aplicação de AR também foram observados por Koura et al. (2002) e Anami et al. (2008).

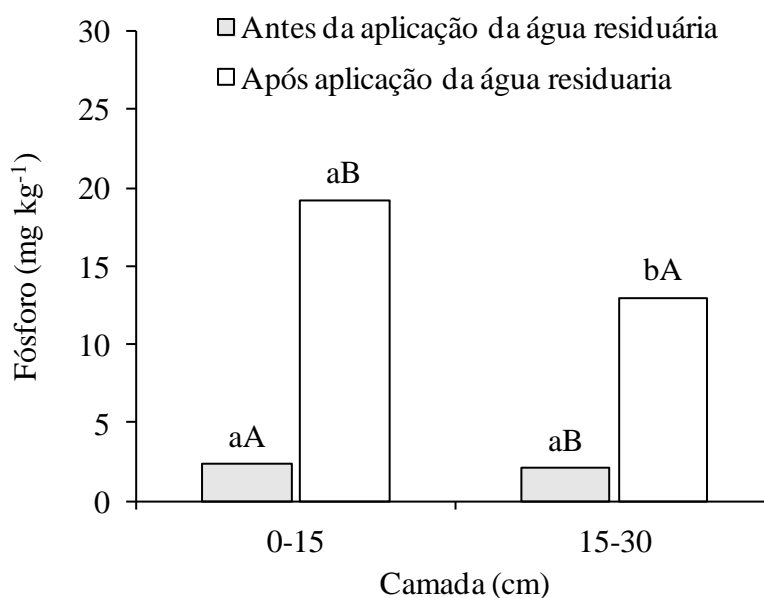


Figura 5. Teores médios de fósforo nas camadas de 0-15 cm e 15-30 cm de profundidade do perfil do solo antes (■) e após (□) 17 meses de aplicação de água residuária, Campina Grande, PB. Médias seguidas pela mesma letra minúscula para aplicação da água e letra maiúscula para profundidade, respectivamente, pelo teste F a 5% de probabilidade.

A mobilidade e as perdas de P pela movimentação vertical são consideradas insignificantes (HEATHWAITE, 2000), devido a sua alta afinidade com os colóides. Entretanto, constatou-se que houve o aumento do teor de P na camada de 15-30 cm, este fato pode ter ocorrido em função da granulometria do solo, mais arenosa, que permitiu a movimentação vertical com P adsorvido (RHEINHEIMER et al., 2003), aplicado na camada de 0-15 cm para a camada abaixo. As aplicações sucessivas de fertilizantes orgânicos como a AR durante muito tempo no solo podem aumentar a concentração de P na solução do solo, bem como a movimentação no perfil, devido à diminuição da capacidade de adsorção do solo pela saturação dos sítios de maior energia (GROHSKOPF, 2013). Portanto, esse processo ocorre devido ao fato em que partículas de grande diâmetro apresentam pequena área superficial específica, e atuam pouco significativamente na adsorção de íons, dessa forma, parte do P aplicado pode ter sido lixiviado no solo.

4.1.4. Nitrogênio (N)

Os teores de N foram afetados tanto pelas épocas de aplicação da AR, com o aumento dos teores de N de $0,53 \text{ g kg}^{-1}$ para $0,75 \text{ g kg}^{-1}$ quanto pelas camadas de 0-15 e 15-30 cm.

Esse aumento é comum em solos que são irrigados com água residuária (FONSCECA et al., 2007), proporcionado pela predominância de N prontamente mineralizável no efluente (TERHOEVEN-URSELMANS et al., 2009). A mineralização do N em solos tratados com resíduos orgânicos, depende da composição do resíduo, das características físicas e químicas do solo (CARNEIRO et al., 2007), e da qualidade do material orgânico (Figura 6).

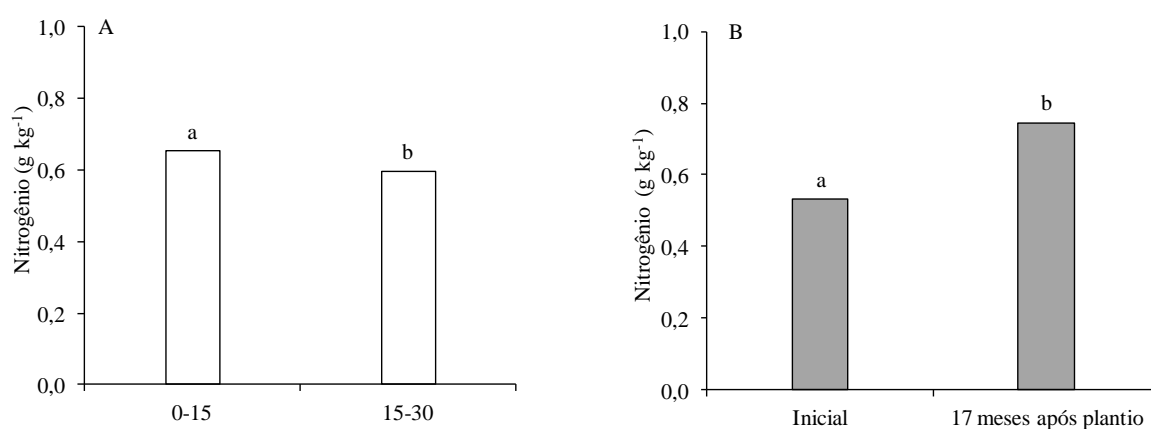


Figura 6. Teores médios de matéria orgânica do solo nas camadas de 0-15 cm e 15-30 cm de profundidade do perfil do solo antes (□) e após (■) 17 meses de aplicação de água residuária, Campina Grande, PB. Médias seguidas pela mesma letra minúscula para aplicação da água e letra maiúscula para profundidade, respectivamente, pelo teste F a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente.

O que pode responder o aumento na concentração de N do solo em função da aplicação da AR (26,32 mg L⁻¹ de N do efluente), possivelmente é a mineralização do nitrogênio orgânico (ALFAIA, 2006) que estão presentes, principalmente, na forma de NH₄⁺, e posteriormente em NO₃⁻, menos adsorvida pelos colóides (GROHSKOPF, 2013). O aumento da concentração de N também foi constatado por Medeiros et al (2005) em todas as camadas e em todas as épocas, justificado pelo tipo de manejo adotado.

4.2. Cálcio (Ca⁺²), magnésio (Mg⁺²) e relação cálcio e magnésio (Ca:Mg)

Houve efeito significativo isolado da época aplicação para os teores de Ca⁺², Mg⁺² e Ca:Mg no solo após a aplicação da água residuária (AR) (Tabela 5).

Tabela 5. Resumo da análise de variância para os valores de Cálcio (Ca⁺²), Magnésio (Mg⁺²), Sódio (Na⁺), Potássio (K⁺), Relação cálcio e magnésio (Ca:Mg) em duas camadas, 0-15 cm e 15-30 cm profundidade do perfil, antes e após a aplicação de água residuária, Campina Grande, PB.

FV	GL	Ca ⁺²		Mg ⁺²		Ca:Mg		Na ⁺		K ⁺	
		GLd	F	GLd	F	GLd	F	GLd	F	GLd	F
Época (E)	1	46,0	29,47**	61,6	18,24**	51,5	99,97**	55,8	1,42	46,6	0,05 ^{ns}
Profundidade (P)	1	47,3	0,17 ^{ns}	62,8	0,53 ^{ns}	48,6	0,16 ^{ns}	53,8	0,00	62,1	0,26 ^{ns}
E x P	1	46	0,36 ^{ns}	61,6	0,02 ^{ns}	51,5	1,01*	55,8	0,01	46,6	0,05 ^{ns}

^{ns} e **: não significativo e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. GLd = Grau de liberdade do denominador

4.2.1. Cálcio (Ca⁺²)

Os valores médios referentes aos teores de Ca⁺² no solo diferiram apenas em função da época de aplicação da AR (Figura 7). Antes da aplicação da AR o solo apresentou um valor de 0,2 cmol_c kg⁻¹, aumentando para 1,24 cmol_c kg⁻¹. O teor de Ca⁺² na AR e o aumento do teor de MOS pode ter proporcionado o aumento dos teores de Ca⁺², devido as cargas negativas presentes na MOS que contribuem para adsorção desse elemento, sendo menos propício à lixiviação. O comportamento pode ser justificado pelo fato de que o cálcio é mais fortemente adsorvido no solo do que amônio, potássio e magnésio, não sendo preocupante em termos de perda (MAGGI et al, 2011). A literatura menciona teores de cálcio que foram baixos em ambas as épocas (SOUZA & LOBATO, 2004).

Esses resultados corroboram com Freitas et al. (2004) e Carlos et al. (2015), que verificaram o aumento dos teores de Ca⁺² na solução do solo após a aplicação de água

residuária. As variações nos teores de Ca^{2+} podem ser justificadas devido à concentração desse elemento na água residuária, que resultou no acúmulo desse elemento no solo.

Os resultados apresentados divergiram dos resultados de Caovilla et al. (2010), em que os teores de Ca^{+2} foram pouco afetados pela aplicação da água residuária. De acordo com Freitas et al. (2005) e Melo et al. (2006), esse resultado é atribuído à influência da textura, onde observa-se maior retenção de cátions como potássio, sódio, cálcio e magnésio em solos argilosos do que em solos arenosos e franco-arenosos. A redução dos teores de Ca^{+2} também está relacionada aplicação da água residuária que pode ocasionar a elevação do pH, o que favorece a mineralização da matéria orgânica, aumentando a liberação de CO_2 e, consequentemente, a lixiviação de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ com a água (MAGGI et al., 2011c). Entretanto, não foram observadas alterações no pH do solo em estudo em 17 meses de aplicação de água residuária.

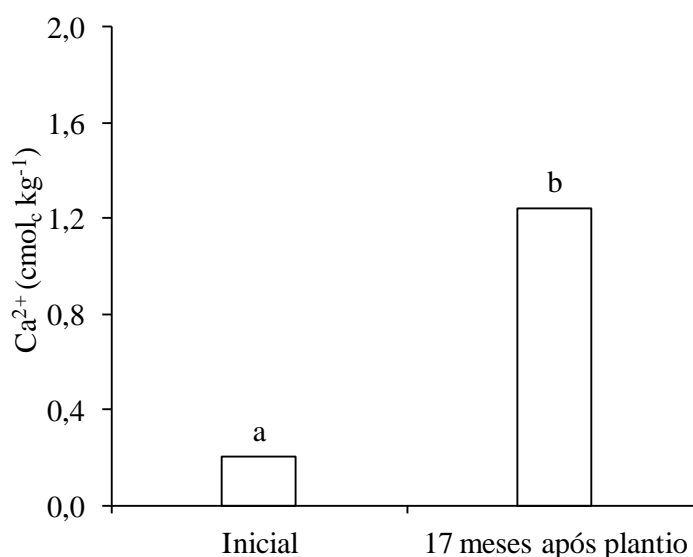


Figura 7. Teores médios de cálcio no solo antes e após a aplicação de água de reuso, Campina Grande, PB. Médias seguidas pela mesma letra minúscula para aplicação da água após 17 meses de aplicação de água residuária e letra maiúscula para profundidade, respectivamente, pelo teste F a 5% de probabilidade.

Em pesquisas de curta duração pode ser observado uma variação nos teores de Ca^{+2} após a aplicação da AR, tendo em vista que o tempo de aplicação pode afetar na concentração de Ca^{+2} trocável no solo. Medeiros et al. (2005), verificaram em um Luvisolo aumento inicial dos teores Ca^{+2} com adoção da AR, e posteriormente, um decréscimo. Esses resultados são justificados pela concentração deste elemento na água residuária, concentração absorvida pelas plantas e lixiviação no perfil do solo (JNAD et al 2001; GARCIA, 2003).

4.2.2. Magnésio (Mg^{+2})

Na figura 8, constata-se que o teor de Mg^{2+} no solo apresentou comportamento inverso, quando comparado aos teores de Ca^{+2} . Após a aplicação da AR houve uma diminuição nos teores de Mg^{+2} passando de 1,59 para 0,73 $cmol_c\ kg^{-1}$. A possível diminuição do Mg^{+2} no solo pode estar associada ao grau de hidratação deste elemento em relação ao Ca^{+2} . A redução dos teores Mg^{2+} após o reúso pode ter sido devido à baixa concentração deste nutriente na água residuária (10,71 $mg\ L^{-1}$) em comparação com o valor de Ca^{+2} (24,54 $mg\ L^{-1}$), ou até mesmo a indisponibilidade em função da formação de precipitados com solutos da água residuária, demonstrado que a água residuária pode não ser uma boa fonte desse nutriente no solo (MATOS et al., 2005).

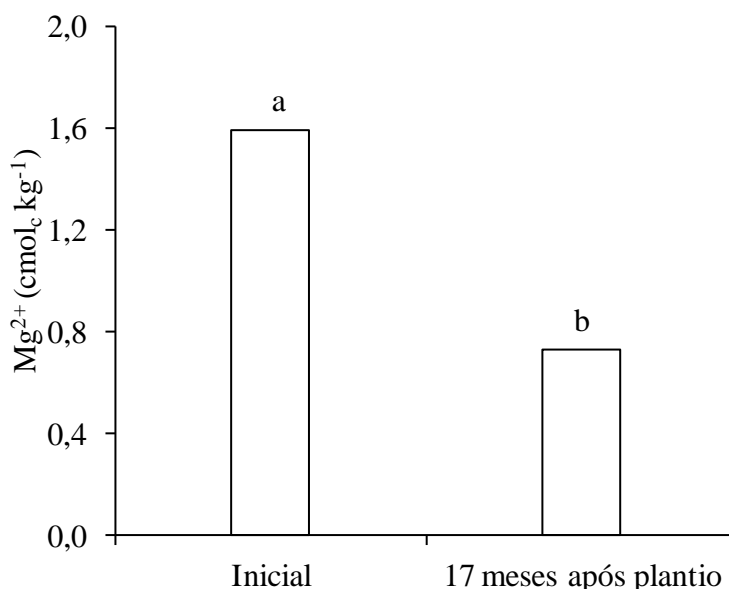


Figura 8. Teores médios de magnésio no solo antes e após a aplicação de água residuária, Campina Grande, PB. Médias seguidas pela mesma letra minúscula para aplicação da água após 17 meses de aplicação de água residuária e letra maiúscula para profundidade, respectivamente, pelo teste F a 5% de probabilidade.

Resultados semelhantes foram encontrados por Queiroz et al. (2004), os quais verificaram que os teores de Mg^{+2} no solo foram influenciados pelo tempo de aplicação, sendo estatisticamente maiores no início do experimento do que no final, devido à extração pelas plantas em quantidades maiores quando submetidas à AR. Fonseca et al. (2001), verificaram que ao associar a disposição do efluente tratado no solo com a adubação pode ocorrer o decréscimo de Mg^{+2} no solo.

Esses dados divergem dos encontrados por Maggi et al. (2011), em que a análise de variância não apresentou significância para os valores de Mg^{+2} , ou seja, não houve

influência das taxas de aplicação da AR e nem do tempo de aplicação. Como houve um incremento de Ca ele pode ter deslocado o Mg dos sítios de troca do solo o que fez com que ele se concentrasse na solução e ser mais susceptível a lixiviação.

4.2.3. Relação cálcio e magnésio (Ca:Mg)

A relação Ca:Mg apresentou valores de 0,24 antes da aplicação e 2,26 após a aplicação da água residuária (Figura 9).

Como visto anteriormente, os valores de Ca^{+2} estão inversamente proporcionais aos de Mg^{+2} , esses menores teores de magnésio pode ter diminuído em função das perdas por lixiviação e da facilidade do Mg^{+2} de ser deslocado ou trocado por outros cátions na solução do solo como o Na^+ , K^+ e NH_4^+ . Observa-se que a relação Ca:Mg antes da aplicação da AR foi foram baixos em ambas as épocas (SOUZA & LOBATO, 2004).

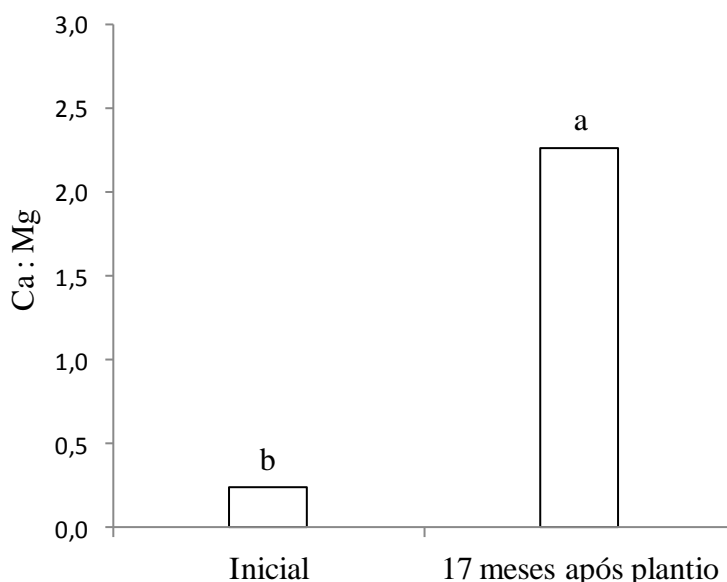


Figura 9. Teores médios da relação entre cálcio e magnésio no solo antes e após a aplicação de água residuária, Campina Grande, PB. Médias seguidas pela mesma letra minúscula para aplicação da água após 17 meses de aplicação de água residuária e letra maiúscula para profundidade, respectivamente, pelo teste F a 5% de probabilidade.

Em trabalho realizado por Cavellet et al. (2006), a aplicação da maior dose de 14L dia^{-1} de água residuária aumentou os teores de Ca^{+2} e proporcionaram maior aporte de Ca^{+2} (790 kg ha^{-1}) no solo quando relacionado com o início do experimento. Moreira (2004) também verificou incremento nas concentrações Ca^{+2} , no segundo ano agrícola, com a aplicação de esterco líquido de suínos, mostrando talvez, a necessidade de mineralização e disponibilização destes elementos da fração orgânica, o que pode estar associado com a quantidade aplicada e características desses dejetos. A diminuição dos teores de Mg^{+2} em função do aumento do Ca^{+2} prejudica a absorção do Mg^{+2} pelas plantas,

sendo que a relação ideal encontrada na literatura varia de 2,0 a 7,0 (SOUZA & LOBATO, 2004).

4.2.4. Sódio (Na^+)

Os teores de sódio não apresentaram diferenças significativas com a aplicação da AR, nem em função das camadas.

No entanto, deve-se tomar cuidado com a aplicação de águas residuárias, uma vez que o teor de Na^+ no solo pode aumentar em função da alta concentração de sódio no efluente, que apresentou $166,91 \text{ mg L}^{-1}$ (Tabela 2), que é um valor considerado alto para a irrigação (ALMEIDA, 2010). Desse modo, os altos teores de sódio contido na água residuária pode ter contribuído para deslocar tanto o Mg^{+2} do complexo de troca, quanto os outros cátions trocáveis (RIBEIRO et al., 2009), devido ao fato do sódio ser o cátion predominante no complexo de troca.

Ao avaliar os impactos da aplicação de efluente proveniente da suinocultura, Medeiros et al. (2011) constataram que os teores de Na^+ no solo aumentaram em todas as camadas monitoradas, em todos os tratamentos. Sendo observado por vários outros autores o aumento do teor de Na^+ no solo (MEDEIROS et al., 2005; SANTOS et al., 2006; SOUSA et al., 2006; HERPIN et al., 2007; LEAL et al., 2009), e justificados pelo alto teor desse elemento no efluente tratado.

Deste modo, o excesso de sódio no complexo sortivo, pode promover a dispersão das argilas, reduzindo a permeabilidade do solo, e conseqüentemente, há decréscimo na taxa de infiltração, prejudicando o desenvolvimento radicular das plantas cultivadas (SILVA et al., 2012), além de provocar a redução da taxa de mineralização do nitrogênio afetando diretamente o crescimento das plantas (DIAS & BLANCO, 2010).

4.2.5. Potássio (K^+)

Os teores de K^+ foram considerados baixos e não apresentaram variação significativa, tanto em função da época de avaliação quanto nas camadas avaliadas, variando de 0,08 a $0,1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$.

Os baixos teores podem ser devido ao aumento da mobilidade deste elemento no solo, em função da ausência de par iônico e baixa reatividade no solo (CAOVILLA et al., 2010). A mobilidade do K^+ é maior do que a do N e do P (DOBLINSKI et al., 2010), sendo facilmente lixiviado, especialmente em solos de baixa CTC e que também receberam aporte elevado de Ca^{+2} e Mg^{+2} (MOTA & VON SPERLING, 2009). Outros fatores que podem ter contribuído com os baixos teores de K^+ no solo, são a baixa

concentração deste elemento na água de reúso (27,58 mg L⁻¹), e os altos teores de Ca²⁺, que competem na ligação dos colóides.

Em pesquisa de Freitas et al. (2004) e Maggi et al. (2011), verificou-se o aumento na concentração de K⁺ no solo após a aplicação da AR. Com a aplicação da AR, há uma interação do K⁺ com os colóides do solo, diminuindo o processo de lixiviação, de modo que a AR pode substituir a adubação potássica, reduzindo a contaminação de corpos hídricos e os custos da cultura (GARCIA, 2003; LO MÔNACO, 2005; SILVA et al., 2008). A aplicação de AR com altos teores de K⁺ deve ser realizada com muito cuidado, tendo em vista que o aumento da dose pode proporcionar significativa lixiviação de K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ no perfil do solo, o que pode aumentar também os valores de condutividade elétrica (LO MÔNACO, 2005).

4.3. Acidez trocável (Al³⁺) e Acidez potencial

Houve efeito significativo isolado da época aplicação apenas para os teores de Al³⁺, no solo após a aplicação da água residuária (AR) (Tabela 6).

Tabela 6. Resumo da análise de variância para os valores de alumínio (Al³⁺), hidrogênio mais alumínio (H+Al), 0-15 cm e 15-30 cm profundidade do perfil, antes e após a aplicação de água residuária, Campina Grande, PB.

FV	GL	Al ³⁺		H+Al	
		GLd	F	GLd	F
Época (E)	1	33,9	18,91**	46,6	4,53*
Profundidade(P)	1	26,3	0,04 ^{ns}	57,6	1,19 ^{ns}
E x P	1	33,9	0,06 ^{ns}	46,6	3,89 ^{ns}

4.3.1 Acidez trocável (Al³⁺)

Os teores de Al³⁺ trocável tiveram diferenças significativas após a aplicação da água residuária, porém não houve diferença entre as camadas de 0-15 e 15-30 cm (Figura 10). Resultados semelhantes a esse foram encontrados por Cassol et al. (2011), em que não foram observadas alterações nesses parâmetros nas camadas superficiais do solo com aplicação de diferentes doses de dejetos líquidos de suínos. Cabral et al. (2011) observaram um valor médio de Al³⁺ de 7,0 mg L⁻¹ e, após a aplicação da água residuária baixou para 3,5 mg L⁻¹ mesmo não diferindo estatisticamente. A matéria orgânica do solo tem um papel principal para redução do teor de Al³⁺ no solo, a presença de vários grupamentos funcionais na MOS possibilita a reação com os metais como o Al³⁺, sendo influenciados pelas características do metal, tais como valência, tamanho do raio de hidratação,

eletronegatividade e polarizabilidade, densidade e tipo dos grupos reativos, características da solução do solo (NOVAES et al., 2007).

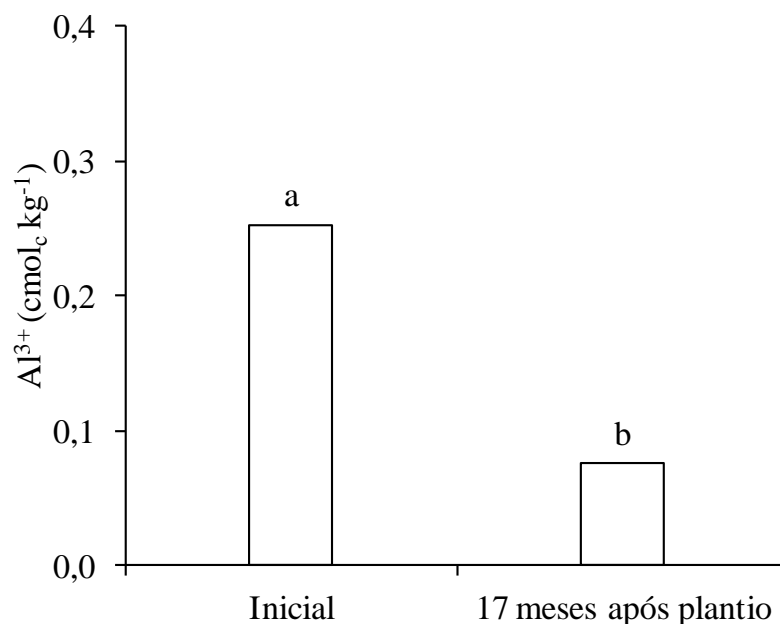


Figura 10. Teores médios de Alumínio trocável no solo antes e após a aplicação de água de reuso, Campina Grande, PB. Médias seguidas pela mesma letra minúscula para aplicação da água após 17 meses de aplicação de água residuária e letra maiúscula para profundidade, respectivamente, pelo teste F a 1% de probabilidade.

4.3.2. Acidez Potencial

Em relação aos valores da $H + Al$, entre os tratamentos, porém foi observada uma média de 2,63 de acidez potencial, considerada baixa. Com a adição de Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^{+} via água residuária (Tabela 1) em contato com a solução do solo, o Al^{+3} pode ser deslocado do complexo de troca e com isso reduzindo a acidez potencial.

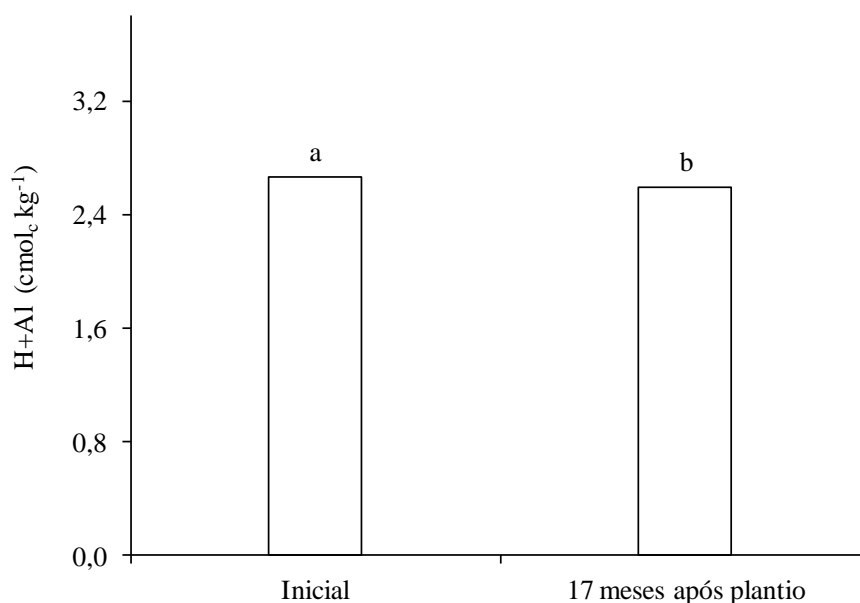


Figura 11 Teores médios de H+Al no solo antes e após a aplicação de água de reuso, Campina Grande, PB. Médias seguidas pela mesma letra minúscula para aplicação da água após 17 meses de aplicação de água residuária e letra maiúscula para profundidade, respectivamente, pelo teste F a 5% de probabilidade.

4.4. Soma de bases (SB), CTC_{efetiva} e CTC_{pH 7,0}

A análise de variância revelou que não houve diferença significativa para a soma de bases, saturação por bases, capacidade de troca de cátions antes e após a aplicação efetiva e capacidade de troca de cátions potencial da água residuária e nem em relação as profundidades, para os valores de porcentagem de sódio trocável e saturação por alumínio houve significância apenas para as épocas de aplicação (Tabela 9).

Tabela 7. Resumo da análise de variância para as variáveis soma de bases (S), saturação por bases (V), porcentagem de sódio trocável (PST), saturação por alumínio (m) e capacidade de troca de cátions efetiva (CTC_{efetiva}) e solo (CTC_{pH 7,0}) em duas camadas, 0-15 cm de profundidade, antes e após a aplicação de água de reuso, Campina Grande, PB.

FV	GL	SB		V		PST		m		CTC _{efetiva}		CTC _{pH 7,0}	
		GLd	F	GLd	F	GLd	F	GLd	F	GLd	F	GLd	F
Época (E)	1	51,0	0,65 ^{ns}	50,9	0,25 ^{ns}	60,6	3,56 ^{ns}	45,0	21,35 ^{**}	51,0	0,25 ^{ns}	52,0	0,42 ^{ns}
Profundidade (P)	1	55,5	0,19 ^{ns}	59,2	0,01 ^{ns}	59,6	0,08 ^{ns}	48,0	0,23 ^{ns}	55,7	0,18 ^{ns}	55,4	0,57 ^{ns}
E x P	1	51,0	0,08 ^{ns}	50,9	0,05 ^{ns}	60,6	0,02 ^{ns}	45,0	0,09 ^{ns}	51,0	0,08 ^{ns}	52,0	0,30 ^{ns}

^{ns} e **: não significativo e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Os valores referentes à SB, CTC_{efetiva} e CTC_{pH 7,0} em ambas as camadas não diferiram estatisticamente ($p \leq 0,05$). Em relação à soma de bases, os valores aumentaram após a aplicação da água residuária, o que pode ser justificado em função do aumento das bases (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} e K^{+}), sendo maiores nas camadas de 0-15 cm. Mesmo com a aplicação da maior dose de água residuária não houve um aumento na CTC_{efetiva} que está

também relacionado ao aumento pH. A $CTC_{efetiva}$ é calculada através dos valores da SB e do Al^{+3} , de modo que a taxa de aplicação e altas concentrações de Ca^{+2} podem elevar os valores desta variável (OLIVEIRA et al, 2002).

A aplicação da água residuária para solos que apresentam textura franco arenosa possibilita o aumento da CTC do solo, favorecendo o maior armazenamento e reserva de nutrientes no solo, sendo favorável, pois é uma região de pouca precipitação, logo há baixa disponibilidade de nutrientes e reduzida reserva desses no solo (CHAVES et al., 1998).

O efeito de resíduos orgânicos como a água residuária ocorre em função da taxa de aplicação, da qualidade e quantidade de matéria orgânica contida no resíduo, bem como a capacidade do resíduo em elevar o pH do solo (ABREU JÚNIOR et al, 2005). Queiroz et al. (2004), observou aumento tanto da $CTC_{pH\ 7,0}$ como na SB do solo.

4.5. Porcentagem de sódio trocável (PST), Saturação por bases (V) e Saturação por Al^{3+} (m)

A porcentagem de sódio trocável foi significativa, porém não houve interação entre as camadas. A PST antes da aplicação da água residuária foi de 7,23 % e após a aplicação foi de 10,88% (Figura 12). O aumento da PST provavelmente ocorreu devido a elevação do teor de sódio em relação aos outros cátions trocáveis, proveniente da AR. Os íons sulfato ($51,88\ mg\ L^{-1}$) e cloreto ($270\ mg\ L^{-1}$) (Tabela 1 e 2, respectivamente), associados ao sódio, são potenciais causadores de salinização do solo. Assim, o controle da sodificação e da salinização deve ser considerado imprescindível para prática de irrigação com efluentes tratados. Recomenda-se o monitoramento dos seguintes atributos: CE, PST, RAS e pH (MATOS & VON SPERLING, 2009).

Problemas com sodificação de solos passam a ser importantes quando o PST atinge valores superiores a 15%. Neste caso, há o comprometimento da produtividade das culturas, sendo necessário um manejo adequado para a recuperação de solos sódicos e retorno ao ciclo produtivo. Sendo assim, a irrigação com efluente tratado sem o manejo adequado pode provocar aumentos na PST, acarretando problemas na condutividade hidráulica do solo (MATOS & SPERLING, 2009).

Para a saturação por bases (V%) não houve diferença significativa nem entre as camadas, nem para as épocas de aplicação.

Em relação à saturação por alumínio (Figura 13), pode-se inferir que houve a diminuição após aplicação da água residuária, esse fator tem relação direta com o teor de alumínio no solo, à medida que há a diminuição do teor de alumínio a saturação por alumínio também diminui, bem como à medida que a CTC aumenta.

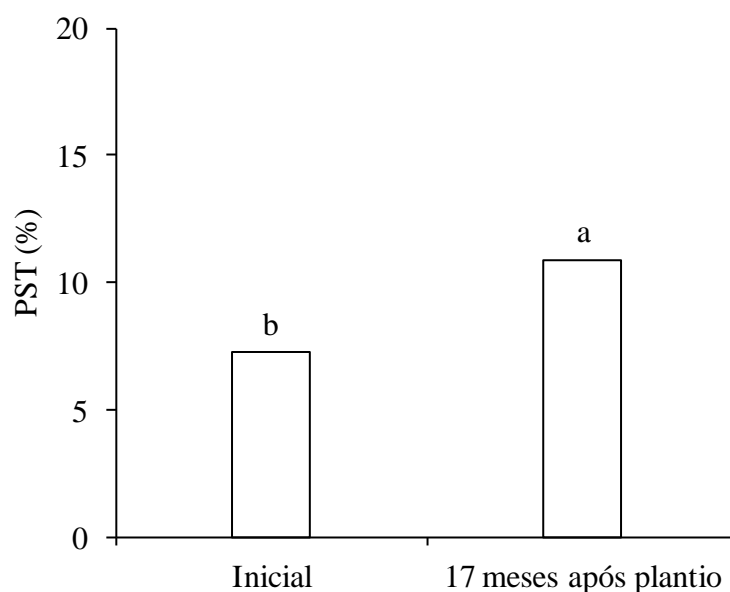


Figura 12. Teores médios de percentagem de sódio trocável (PST) no solo antes e após a aplicação de água de reuso, Campina Grande, PB. Médias seguidas pela mesma letra minúscula para aplicação da água após 17 meses de aplicação de água residuária e letra maiúscula para profundidade, respectivamente, pelo teste F a 1% de probabilidade.

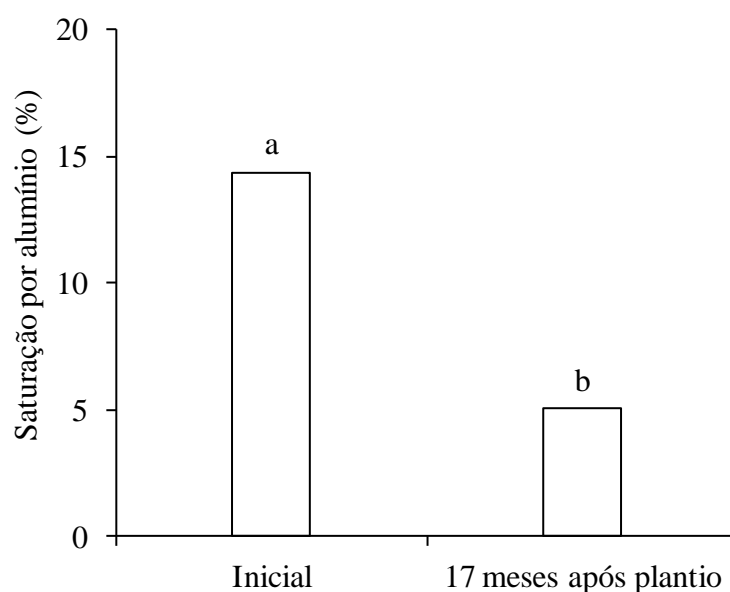


Figura 13. Teores médios de saturação por alumínio no solo antes e após a aplicação de água de reuso, Campina Grande, PB. Médias seguidas pela mesma letra minúscula para aplicação da água após 17 meses de aplicação de água residuária e letra maiúscula para profundidade, respectivamente, pelo teste F a 1% de probabilidade.

4.6. Análise de componentes principais (ACP)

Foi aplicada a ACP nas propriedades químicas do solo submetidas a duas épocas de irrigação (antes e depois) com água residuária, em duas espécies florestais e em duas

camadas do solo 0-15 e 15-30 cm, na qual, a variância contida em cada componente principal gerado é expressa pelos autovalores da matriz padronizada, de tal maneira que os maiores autovalores representem os primeiros componentes principais, e explicam a maior parte da variância dos dados originais.

Sendo assim, a ACP, aplicada na matriz de correlação das características químicas e de fertilidade, possibilitou a identificação de dois componentes principais, que representam 79,26 % da variância total das variáveis analisadas (Tabela 10). De acordo com a análise de agrupamento (Tabela 10), observa-se que CP₁ é representado pelo P, K⁺, Ca⁺², Mg⁺², Na⁺, Al⁺³, H+Al, SB, CTC_{efetiva}, CTC_{pH 7,0}, N, V, PST, m, MOS e Ca:Mg.

Na análise de correlações (Figura 14), dos atributos químicos e de fertilidade do solo, estes são representados pelos vetores que indicam o sentido do aumento dos valores das variáveis estudadas que apresentam maior representatividade.

Dessa forma, verifica-se que no CP₁ há sinergismo entre o aumento dos atributos químicos P, Ca⁺², Na⁺, SB, CTC_{efetiva}, CTC_{pH 7,0}, N, V, PST, MOS, Ca:Mg. Por outro lado, o aumento desses atributos acarretou no decréscimo dos valores de K⁺, Mg⁺², Al⁺³ e m. Já o componente principal 2 é representado apenas pelo H+Al.

Tabela 10. Autovalores e autovetores dos componentes principais.

Componente principal		
Autovalor (λ)	8,110	5,364
Variância individual (%)	47,705	31,550
Variância acumulada (%)	47,705	79,256
Variáveis	Autovalores	
	Componente 1	Componente 2
pH	-0,134	0,448
P	0,273	-0,121
K ⁺	-0,206	0,183
Ca ⁺²	0,277	0,090
Mg ⁺²	-0,279	0,060
Na ⁺	0,280	0,058
Al ⁺³	-0,281	-0,052
H+Al	-0,106	0,469
SB	0,221	0,314
CTC _{efetiva}	0,169	0,406
CTC _{pH 7,0}	0,148	0,435
N	0,275	-0,079
V	0,270	-0,112
PST	0,280	-0,011
m	-0,278	-0,058
MOS	0,249	-0,180
Ca:Mg	0,277	0,080

A análise de agrupamento também está contida na Figura 13, em que é possível visualizar a posição dos diferentes épocas, camadas do solo, com duas espécies diferentes considerando CP₁ e CP₂. As épocas antes da aplicação da água residuária (SR) e após a aplicação da água residuárias (CR) se posicionaram em regiões opostas no diagrama sendo

e as camadas de 0-15 e 15-30 cm, sendo associadas a diferentes variáveis. Desse modo, observa-se que antes da aplicação da água residuária (SR) nas camadas de 0-15 e 15-30, posicionam-se na região do diagrama de modo que residuária (CR), na camada de 0-15 cm, posiciona-se na região inferior do gráfico, sendo influenciado mostra forte relação com altos valores de m, Al^{+3} , Mg^{+2} , K^{+} . Já após a aplicação da água pelos teores de MOS, V, N, PST. E após a aplicação da água residuária, na camada de 15-30 cm, posiciona-se na região superior do diagrama, tendo maior correlação com altos valores de SB, $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$, $\text{CTC}_{\text{pH } 7,0}$, Ca^{+2} , Ca:Mg e Na^{+} .

As variáveis que estão associadas à época antes da aplicação da água residuária (SR), independentemente da profundidade foram inversamente proporcionais aos valores das variáveis após a aplicação da água residuária (CR). Neste sentido, ressalta-se que a aplicação da água residuária causou efeito e mudanças nas propriedades químicas, uma vez que alterou os teores de alguns elementos durante o tempo experimental avaliado.

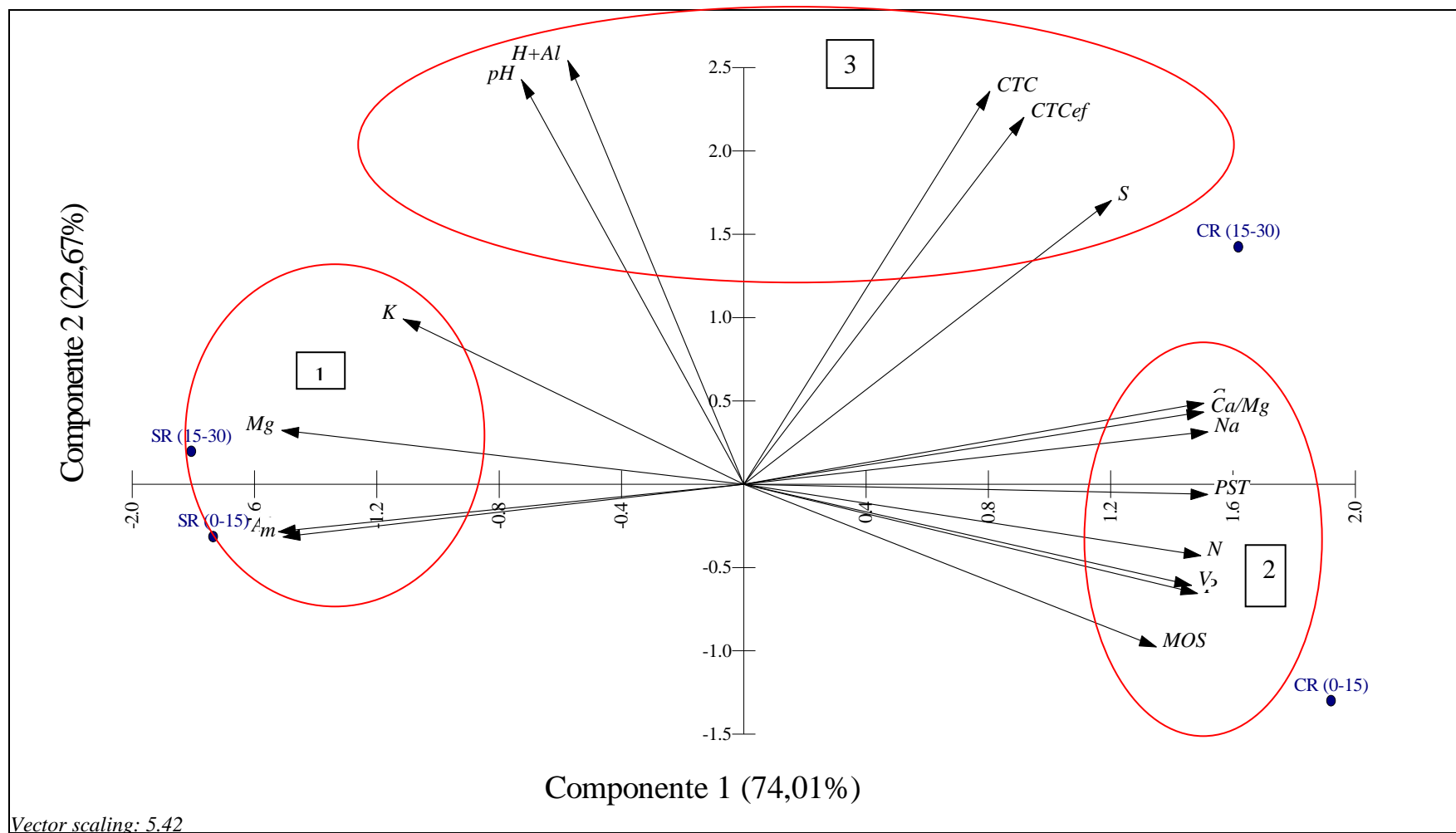


Figura 14. Dispersão das variáveis queimadas de solo com base nos escores do primeiro e segundo componente principal.

5. CONCLUSÕES

1. A aplicação da água residuária contribuiu para as propriedades químicas do solo aumentando os teores de MOS, P, N, Ca^{+2} , Mg^{+2} e Ca:Mg, e diminuiu consideravelmente os teores de Al^{+3} e m.
2. Verificou-se a mobilização vertical do P, sendo influenciado pela textura do solo.
3. Para realizar a irrigação com água residuária em solos como o Planossolo Nátrico recomenda-se o monitoramento da qualidade da água utilizada para irrigação devido à água residuária apresentar altos teores de sais e também em função deste tipo de solo apresentar alto valor de Na^{+} .

6. REFERÊNCIAS

- ABREU JÚNIOR, C. H.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; & KIEHL, J. C. Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal. *Tópicos Especiais em Ciência do Solo*, v.4, p.391-470, 2005.
- ALFAIA, S.S. Caracterização e distribuição das formas do nitrogênio orgânico em três solos da Amazônia Central. *Acta Amazonica*, Manaus, v.36, n.2, p.135-140, 2006.
- ALMEIDA, O. A. Qualidade de água para irrigação. Cruz das Almas: EMBRAPA, 2010.
- ALMEIDA, C.D.G.C. & SILVA, I.J.O. Uso de águas residuárias do beneficiamento do café. Thesis, v.6, n.2, p.30-43, 2006.
- ANAMI, M.H.; SAMPAIO, S.C.; SUSZEK, M.; GOMES, S.D. & QUEIROZ, M.M.F. Deslocamento miscível de nitrato e fosfato proveniente de água residuária da suinocultura em colunas de solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, n. 1, p. 75-80, 2008.
- ANGEKALIS, A.N.; MONTE, M.H.F. M.; BONToux, L. & ASANO, T. The status of wastewater reuse practice in the mediterranean basin: need for guidelines. *Water Resources*, v.33, p. 2201-2217, 1999.
- APHA. AWWA. WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 15 ed. Washington, DC. American Public Health Association. American Water Works Association, Water Pollution control Federation, 2003. 1134p.
- ASSMANN, A.P.; SANTOS, I.; ASSMANN, J.M.; BRAIDA, J.A. & MALAGI, G. Efeito de doses crescentes de esterco líquido de suínos na intensidade de antracnose e produtividade de soja. *Synergismus scyentifica UTFPR*, v.1, p.1-778, 2006.
- BARROS, J.D.S. Mudanças climáticas, degradação ambiental e desertificação no semiárido. *Polêmica*, v.10, p.476-483, 2011.
- BEBÉ, F.V.; ROLIM, M.M.; SILVA, G.B.; MATSUMOTO, S.N. & PEDROSA, E.M. Alterações químicas no solo e no lixiviado em função da aplicação da água residuária de café. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.5, n.2, p.250-255, 2010.
- BOUWER, H. Integrated water management: emerging issues and challenges. *Agricultural Water Mangement*, v.45, p.217-228, 2000.
- BRANDÃO, L.P.; MOTA, S. & MAIA, L.F. Perspectivas do Uso de Efluentes de Lagoas de Estabilização em Irrigação. In: IV SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2002, Vitória, ES. Anais do VI SIBESA. Rio de Janeiro: ABES, 2002.
- BRASIL. Ministério das cidades. Transversal: Saneamento básico integrado às comunidades rurais e populações Tradicionais. Guia do profissional em treinamento. Nível 2. Secretaria nacional de saneamento ambiental. Brasília - DF, 2009. 88p.
- BRASIL. Nova delimitação do Semiárido brasileiro. Câmara dos Deputados: Consultoria Legislativa, Brasília - DF. 2007. 24 p.
- CABRAL, J.R.; FREITAS, P.S.L.; REZENDE, R. MUNIZ, A.S. & BERTONHA, A. Impacto da água residuária de suinocultura no solo e na produção de capim-elefante. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n. 8, p.823-831, 2011.

CAOVILLA, F.A.; SAMPAIO, S.C.; SMANHOTTO, A.; NÓBREGA, L.H.P.; QUEIROZ, M.M.F. & GOMES, B.M. Características químicas de solo cultivado com soja e irrigado com água residuária de suinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.7, p.692-697, 2010.

CAPRA, A. & SCICOLONE, B. Recycling of poor quality urban wastewater by drip irrigation systems. *Journal of Cleaner Production*, v.15, n.16, p.1529-1534, 2007.

CARLOS, F. S.; MARAFON, A. J.; ANDREZZA, R.; ANGHINONI, I.; TEDESCO, M.J. & CAMARGO, F.A.O. Alterações eletroquímicas e dinâmica de nutrientes na solução do solo em arroz irrigado com lixiviado industrial tratado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.39, p.466-474, 2015.

CARNEIRO, J.P.; BRANCO, S. & COUTINHO, J. Mineralização de azoto de diferentes resíduos orgânicos em incubação laboratorial de longa duração. *Revista Ciência Agrícola*, v.30, p.159-173, 2007.

CASSOL, P.C.; SILVA, D.C.P. & ERNANI, P.R. Atributos químicos em Latossolo Vermelho fertilizado com dejetos suíno e adubo solúvel. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v.10, n.2, p.103-112, 2011.

CAVALLET, L.E.; LUCCHESI, L.A.C.; MORAES, A.; SCHIMIDT, E.; PERONDI, M.A. & FONSECA, R.A. Melhoria da fertilidade do solo decorrentes da adição de água residuária da indústria de enzimas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.3, p.724-729, 2006.

CHAVES, L. H. G.; MENINO, I. B.; ARAÚJO, I.A. & CHAVES, I. B. Avaliação da fertilidade dos solos das várzeas do município de Sousa, PB. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 2, n. 3, p. 262-267, 1998.

CHERNICHARO, C.A.L.; FLORENCIO, L.; BASTOS, R.K.X.; PIVELI, R.P.; VON SPERLING, M & MONTEGGIA, L.O. Tratamento de esgotos e produção de efluentes adequados a diversas modalidades de reúso da água. In: FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. (coord.). Tratamento e utilização de esgotos sanitários. Rio de Janeiro: ABEAS, 2006. p.63-110. (Projeto PROSAB).

CORAUCCI FILHO, B.; CHERNICHARO, C.A.L.; ANDRADE NETO, C.O.; NOUR, E.A.; ANDREOLI, F. DE N.; SOUZA, H.N. DE; MONTEGGIA, L.O.; VON SPERLING, M.; LUCAS FILHO, M.; AISSE, M.M. FIGUEIREDO, R.F. & STEFANUTTI, R. Bases conceituais da disposição controlada de águas residuárias no solo. In: CAMPOS, J.R. (Ed.). Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro: ABES/PROSAB, 1999. p.321-356.

COSTA, D. M. A. & BARROS JÚNIOR, A. C. Avaliação da necessidade do reúso de águas residuais. *Revista Holus*, v.21, p.81-101, 2005.

DAL BOSCO, T.C.; SAMPAIO, S.C.; OPAZO, M.A.U.; GOMES S.D. & NÓBREGA, L.H.P. Aplicação de água residuária de suinocultura em solo cultivado com soja: cobre e zinco no material escoado e no solo. *Engenharia Agrícola*, v.28, n.4, p.699-709, 2008.

DEON, M.D.I.; GOMES, T.M.; MELFI, A.J.; MONTES, C.R. & SILVA, E. Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.45, p.1149-1156, 2010.

DIAS, N.S. & BLANCO, F.F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H.R.; DIAS, N.S. & LACERDA, C.F. (Eds.). Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados. Fortaleza: INCTSal, 2010. p.129-141.

DOBLINSKI, A.F.; SAMPAIO, S.C.; SILVA, V.R.DA; NÓBREGA, L.H.P.; GOMES, S.D. & DAL BOSCO, T.C. Nonpoint source pollution by swine farming wastewater in bean crop. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.1, p.87-93, 2010.

DUARTE, A.S.; AIROLDI, R.P.S.; FOLEGATTI, M.V.; BOTREL, T.A & SOARES, T.M. Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, p.302-310, 2008.

ERIKSSON, E.; AUFFARH, K.; HENZE, M. & LEDIN, A. Characteriscs of grey wasterwater. *Urban Water*, v.4, n.1, p.85-104. 2002.

ERTHAL, V.J.T.; FERREIRA, P.A.; MATOS, A.T. & PEREIRA, O. G. Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.467-477, 2010.

FERREIRA NETO, M.; REBOUÇAS, J.R.L.; DIAS, N.S.; SOUZA NETO, O.N. & BRITO, R.F. Efeito do rejeito salino sobre a produção de rúcula em meio hidropônico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SALINIDADE, 2010, Fortaleza. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SALINIDADE. Fortaleza: INCTSAL, 2010.

FONSECA, A.F.; HERPIN, U.; PAULA, A.M.; VICTÓRIA, R.L. & MELFI, A.J. Agricultural use of treated sewage effluents: agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. *Scientia Agrícola*, v.64, p.194-209. 2007.

FONSECA, A.F.; MELFI, A.J. & MONTES, C.R. Maize growth and changes in soil fertility after irrigation with treated sewage effluent. I. Plant dry matter yield and soil nitrogen and phosphorus availability. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.36, p.1965-1981, 2005.

FRANCISCO, P.R.M; PEREIRA, F.C.; BANDEIRA, M.M.; MEDEIROS, R.M.; SILVA, M.J. & SILVA, J.V.N. Mapeamento pedoclimático na cultura da mamona no estado da Paraíba. *Revista de Geografia*, v. 30, n. 3, p. 132-145, 2013.

FREITAS, W.S.; OLIVEIRA, R.A.; CENCON, P.R.; PINTO, F.A. & GALVÃO, J.C.C. Efeito da aplicação de água residuária de suinocultura sobre a produção de milho para silagem. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.8, p.120-125, 2004.

FILHO, J. F.; SOUZA, A. L. V. O manejo e a conservação do solo no Semiárido baiano: desafios para a sustentabilidade, *Bahia Agrícola*. v.7, n.3, 2006.

GALINDO, I.C.L.; RIBEIRO, M.R.; SANTOS, M.F.A.V.; LIMA, J.F.W.F. & FERREIRA, R.F.A.L. Relações solo-vegetação em áreas sob processo de desertificação no município de Jataúba, PE. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.1283-1296, 2008.

GARCIA, G.O. Alterações químicas, físicas e mobilidade dos íons no solo decorrentes da aplicação de água residuária da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro conilon. Viçosa: UFV, 2003. 101p. (Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo)

GROHSKOPF, M. A. Frações de nitrogênio orgânico e teores de nutrientes na solução do Latossolo Vermelho fertilizado com dejetos suínos. Lages: UESC, 2013. 105p. (Dissertação de Mestrado em Manejo do Solo)

GUEDES, M.C.; ANDRADE, C.A.; POGGIANI, F. & MATTIAZZO, M.E. Propriedades químicas do solo e nutrição do eucalipto em função da aplicação de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, n.2, p.267-280, 2006.

HEATHWAITE, L. A conceptual approach for integrating phosphorus and nitrogen management at watershed scales. *Journal Environmental Quality*, Madison, v.29, p.158-166, 2000.

HERPIN, U.; GLOAGUEN, T.V.; FONSECA, A.F.; MONTES, C.R.; MENDONÇA, F.C.; PIVELI, R.P.; BREULMANN, G.; FORTI, M.C. & MELFI, A.J. Chemical effects on the soil-plant system in a secondary treated wastewater irrigated coffee plantation - A pilot field study in Brazil. *Agriculture Water Management*, v.89, p.105-115, 2007.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil –agricultura, indústria, municípios e recarga de aquíferos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Porto Alegre, v.7, p.75-95, 2002.

HESPANHOL, I. Reúso integrado à gestão de recursos hídricos: Bases para planejamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21. 2001. p.77-84.

HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a gestão dos recursos hídricos. *Estudos avançados*, v. 22, n. 63, p. 131-157, 2008.

JNAD, I.; LESIKAR, B.; KENIMER, A. & SABBAGH, G. Subsurface Drip Dispersal of Residential Effluent: I. Soil Chemical Characteristics. *Transactions of the ASAE*, v.44, n.5 p.1152-1158, 2001.

KOURA, A.; FETH, F. LAHLOU, A. & OUZZAMMI N. Reuse of urban wastewater by combined stabilization pond system in Benslimane (Maroco). *Urban Water*, Amsterda, v.4, p.373-378, 2002.

LEAL, R.M.P.; HERPIN, U.; FONSECA, A.F.; FIRME, L.P.; MONTES, C.R. & MELFI, A.J. Sodicity and salinity in a Brazilian Oxisol cultivated with sugarcane irrigated with wastewater. *Agriculture Water Management*, v.96, p.307-316, 2009.

LEITE, L.F.C.; PETRESE, V.G. & SAGRILO, E. Sequestro de carbono em solos da região Semiárida brasileira estimado por modelo de simulação em diferentes sistemas produtivos. In: Conferencia internacional: Clima, Sustentabilidade e Desenvolvimento em regiões Semiáridas, 2. Fortaleza: CGEE, 2010 11 p.

MAGGI, C.F.; FREITAS, P.S.L.; SAMPAIO, S.C. & DIETER, J. Lixiviação de nutrientes em solo cultivado com aplicação de água residuária de suinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.2, p.170-177, 2011.

MALAVOLTA, E.; PIMENTEL-GOMES, F. & ALCARDE, J.C. Adubos e adubações. São Paulo: Nobel, 2002. 199 p.

MATOS, A.T.; PINTO, A.B.; PEREIRA, O.G. & BARROS, F.M. Alteração de atributos químicos no solo de rampas utilizadas no tratamento de águas residuárias. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.9, n.3. p.406-412, 2005.

MAY, S. Caracterização, tratamento e reúso de águas e aproveitamento de águas pluviais em edificações. São Paulo: EPUSP, 2009. 223p. (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária)

MEDEIROS, S.S. DE; GHEYI, H.R.; PÉREZ-MARIN, A.M.; SOARES, F.A.L. & FERNANDES, P.D. Características químicas do solo sob algodoeiro em área que recebeu água residuária da suinocultura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.1047-1055, 2011.

MEDEIROS, S.S.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P.A.; SOUZA, J.A.A.; SOUZA, J.A. & MATOS, A.T. Comportamento dos atributos químicos do solo em resposta à aplicação de água residuária de origem doméstica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.268-273, 2005.

MELO, R.F.; FERREIRA, P.A.; MATOS, A.T.; RUIZ, H.A. & OLIVEIRA, L.B. Deslocamento miscível de cátions básicos provenientes da água residuária de mandioca em colunas de solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, p.456-465, 2006.

MENDONÇA, P.A.O. Reuso de água em edifícios públicos: o caso da escola Politécnica. Salvador: UFBA, 2004. 166 p. (Dissertação de Mestrado em gerenciamento e tecnologias ambientais no processo produtivo).

MENEZES, R.S.C.; GARIDO, M.S. & PEREZ-MARIN, A.M. Fertilidade dos solos no semiárido. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 30., 2005, Recife. Anais...Recife: UFRPE, 2005. CD ROOM.

MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V.S.B.; GIONGO, V.B & PÉREZ-MARIN, A.M. Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome. *Brazilian Journal of Botany*, v.72, n.3, p.643-653, 2012.

MOHAMMAD, M.J. & MAZAHREH, N. Changes in soil fertility parameters in response to irrigation of forage crops with secondary treated wastewater. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.34, p.1281-1294, 2003.

MOREIRA, E. B. Efeito fertilizante de dejetos suíno aplicado em lavoura sob plantio direto. Lages: UDESC, 2004. 73p. (Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo)

MOTA, S. & VON SPERLING, M. Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção. v.1. Rio de Janeiro: PROSAB/FINEP, 2009. 430p.

MUCHOVEJ, R.M.C. & RECHCIGL, J.E. Impacts of nitrogen fertilization of pastures and turfgrasses on water quality. In: LAL, R. & STEWART, B.A. (Eds). *Soil processes and water quality*. Lewis Publication, p.91-135, 1994.

OLIVEIRA, F.C.; MATIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R. & ROSSETO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, p. 505-519, 2002.

PAZ, V.P.S.; TEODORO, R.E.F. & MENDONÇA, F.C.R. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. Comunicado Técnico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, n.3, p.465-473, 2000.

QUEIROZ, F.M.; MATOS, A.T.; PEREIRA, O.G. & OLIVEIRA, R.A. Características químicas de solo submetidos ao tratamento com esterco líquido de suínos e cultivados com gramíneas forrageiras. *Ciência Rural*, v.34, p.1487-1492, 2004.

RIBEIRO, M.R.; BARROS, M.F.C. & FREIRE, M.B.G.S. Química dos solos salinos e sódicos. In: MELO, V.F. & ALLEONI, L.R. (Eds). *Química e mineralogia do solo*. v.2. Viçosa: SBCS, 2009. p.449-484.

RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I.; CONTE, E.; KAMINSKI, J. & GATIBONI, L.C. Dessorção de fósforo avaliada por extrações sucessivas em amostras de solo provenientes dos sistemas plantio direto e convencional. *Ciência Rural*, v.33, p.1053-1059, 2003.

SÁ, I.B.; CUNHA, T.J.F.; TAURA, T.A. & DRUMOND, M.A. Mapeamento da desertificação do semiárido paraibano com base na sua cobertura vegetal e classes de solos. *Anais XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR*, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, p. 3112-3118, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.

SANTOS, M.B.H.; LIMA, V.L.A.; HAANDEL, A.C.V.; BELTRÃO, N.E.M. & SOUZA, A.P. Salinidade de um solo irrigado com água residuária e adubado com biossólido. *Agropecuária Técnica*, v.27, n.1, p.30-36, 2006.

SANTOS, J.L.D; ALMEIDA, J.N. & SANTOS, A.C. Caracterização Física e Química de um Planossolo localizado no semiárido baiano. *Revista ACSA*, v. 9, p. 13-17, 2013.

SANTOS JÚNIOR, J.A. SOUZA, C.F.; PEREZ-MARIN, A.M.; CAVALVANTE, A.R. & MEDEIROS, S.S. Interação da urina e efluente doméstico na produção de milho em solos do semiárido paraibano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, n. 5, p. 456-463, 2015.

SAS INSTITUTE INC.SAS ® university edition: installation guide for Windows. Cary: SAS Institue, 2014.

SILVA, A.S.; LAIME, E.M.O.; SOUZA, R.N.; SOUTO FILHO, L.T. & OLIVEIRA, D.C. S. Caracterização de plantas de milho na absorção de nutrientes e metais pesados pós submissão à irrigação com efluente. *Revista Educação Agrícola Superior*, v.27, p.141-145, 2012.

SILVA, S.M.S.; ALVES, A.N.; GHEYI, H.R.; BELTRÃO, N.E.M.; SEVERINO, L.S. & SOARES, F.A.L. Desenvolvimento e produção de duas cultivares de mamoneira sob estresse salino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, p.335-342, 2008.

SIQUEIRA, O.J.W. Diagnóstico da fertilidade dos solos do estado de Sergipe. In: SOBRAL, L.F.; VIEGAS, P.R.A.; SIQUEIRA, O.J.W.; ANJOS, J.L.; BARRETTO, M.C.V. & GOMES, J.B.V. (Eds). *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes no estado de Sergipe*. Aracajú: p.49-79. EMBRAPA, 2007.

SOUSA, J.T.; LEITE, V.D. & LUNA, J.G. Desempenho da cultura do arroz irrigado com esgotos sanitários previamente tratados. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.5, n.1, p.107-110, 2005.

SOUSA, J.T. & LEITE, V.D. Tratamento e utilização de esgotos domésticos na agricultura, 2.ed. Campina Grande: EDUEP:UEPB, 2003.135p.

SOUSA, J.T.; CEBALLOS, B.S.O. ; DANTAS, J.P.; HENRIQUE, I.N. & LIMA, S.M.S. Reúso de água residuária na produção de pimentão (*Capsicum annuum* L.). Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, n.1, p.89-96, 2006.

SOUZA, D.M.G. & LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2 ed. Brasília: Embrapa Cerrados, 2004. 416 p.

SOUZA, J.A.A.; MEDEIROS, S.S.; SOARES, A.A.; RAMOS, M.M.; NEVES J.C.L & SOUZA, J.A. Nutrição do cafeeiro sob fertirrigação com água residuária de origem urbana. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 9, p.150-154, 2005.

TERHOEVEN-URSELMANS, T.; SCHELLER, E.; RAUBUCH, M.; LUDWIG, B. & JOERGENSEN, R. G. CO₂ evolution and N mineralization after biogas slurry application in the field and its yield effects on spring barley. Applied Soil Ecology, v.42, n.3, p.297-302, 2009.

VON SPERLING, M. Principio do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Introdução à Qualidade De Águas e ao Tratamento de Esgotos. Belo Horizonte: DESA – UFMG, 2005.

WANG, Z.; CHANG, A.C.; WU, L. & CROWLEY, D. Assessing the soil quality of long-term reclaimed wastewater-irrigated cropland. Geoderma, v.114, p.261-278, 2007.

WHALEN, J.K.; CHANG, C.; CLAYTON, G.W & CAREFOOT, J.P. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. Soil Science Society of America Journal, v.64, p.962-966, 2000.

APÊNDICE A

Tabela 1. Caracterização química no tempo inicial (I) e final (F) da aplicação da água residuária no solo na área experimental.

pH		Na ⁺		K ⁺		Ca ⁺²		Mg ⁺²		Al ⁺³		H+Al		P		MOS		N		SB		CTC _{efetiva}		CTC _{pH 7,0}		V		m		PST	
I	F	I	F	I	F	I	F	I	F	I	F	I	F	I	F	I	F	I	F	I	F	I	F	I	F	I	F	I	F	I	F
5,9	5,8	0,51	0,74	0,10	0,09	0,22	1,15	1,52	0,63	0,25	0,08	2,64	2,45	2,33	19,12	2,11	14,13	0,56	0,78	2,34	2,61	2,60	2,69	4,99	5,06	40,9	43,1	15,2	5,2	7,6	11,0
5,9	5,9	0,5	0,77	0,09	0,09	0,18	1,33	1,67	0,83	0,25	0,07	2,69	2,74	2,06	12,96	2,41	12,05	0,50	0,72	2,44	3,01	2,69	3,08	5,12	5,76	41,2	42,3	13,5	4,8	6,8	10,7